



TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISA PENGARUH DOPING BORON TERHADAP SIFAT KAPASITIF MATERIAL *GRAPHENE* UNTUK APLIKASI SUPERKAPASITOR

YURIAN ARIANDI ANDRAMEDA
NRP 02511440000139

Dosen Pembimbing
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISA PENGARUH DOPING BORON
TERHADAP SIFAT KAPASITIF MATERIAL
GRAPHENE UNTUK APLIKASI
SUPERKAPASITOR**

YURIAN ARIANDI ANDRAMEDA
NRP 02511440000139

Dosen Pembimbing
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

THE ANALYSIS OF EFFECT BORON DOPANT ON CAPACITIVE PROPERTIES OF GRAPHENE MATERIAL BASED SUPERCAPASITOR

**YURIAN ARIANDI ANDRAMEDA
NRP 02511440000139**

Adrvisor

Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

DEPARTEMENT OF MATERIAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH DOPING BORON TERHADAP
SIFAT KAPASITIF MATERIAL *GRAPHENE* UNTUK
APLIKASI SUPERKAPASITOR**

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-I Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YURIAN ARIANDI ANDRAMEDA
NRP. 02511440000139

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  (Pembimbing I)

2. Hannifudin Nurdiansah, S.T., M.T.  (Pembimbing II)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISA PENGARUH DOPING BORON TERHADAP SIFAT KAPASITIF MATERIAL *GRAPHENE* UNTUK APLIKASI SUPERKAPASITOR

Nama : Yurian Ariandi Andrameda
NRP : 02511440000139
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing I : Diah Susanti, S.T, M.T, Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Hannifudin Nurdiansah, S.T, M.T.

Abstrak

Media penyimpanan energi listrik merupakan salah satu material yang perlu dikembangkan di era ini. Salah satu media penyimpanan listrik adalah *electric double layer capacitor* (EDLC). *Graphene* adalah material karbon berlapis tunggal yang memiliki sifat-sifat unggul dalam aplikasi EDLC karena konduktifitas listrik dan luas permukaan aktif yang tinggi. Pendopingan *graphene* dengan boron diharapkan mampu meningkatkan konduktifitas listrik dengan mekanisme penambahan jumlah *hole*, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pendopingan boron pada *graphene* terhadap sifat kelistrikannya dan struktur *graphene*. Metode hummer yang dimodifikasi diikuti dengan proses *hydrothermal* digunakan untuk mensintesis *reduced graphene oxide* (rGO). Penelitian ini menggunakan larutan asam borik H_3BO_3 1M sebagai media pendoping atom boron dengan variasi penambahan 1 ml, 2 ml, 3 ml. Material yang disintesis dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM-EDX, FTIR, FPP, dan CV. Sifat kapasitif elektroda diukur dengan melakukan uji CV dengan rentang scan rate 5, 10, 50 dan 100 mV/s. Hasil Penelitian ini menunjukkan bahwa doping boron berhasil meningkatkan kapasitansi spesifik dari 164.2 F/g sebelum didoping menjadi 192.5 F/g setelah didoping boron 4.37 at% dengan larutan Na_2SO_4 1M.

Kata Kunci : *Graphene*, rGO, Superkapasitor, EDLC, Doping, Boron, Kapasitansi

(halaman ini sengaja dikosongka

THE ANALYSIS OF EFFECT BORON DOPANT ON CAPACITIVE PROPERTIES OF GRAPHENE MATERIAL BASED SUPERCAPASITOR

Name : Yurian Ariandi Andrameda
NRP : 02511440000139
Departement : Material Engineering
Advisor : Diah Susanti, S.T, M.T, Ph.D.
Co-Advisor : Hannifudin Nurdiansah, S.T, M.T.

Abstract

Electrical energy storages are one of the material needed to developed in order to increase their efficiency right now. One of the electrical energy storages are electrical double layer capasitor (EDLC). Graphene is carbon material with single layer which is it has superior properties for EDLC application, this is because good electrical conductivity and active surface area. Boron doped graphene expected can increase a electrical properties with mechanism of hole enhancement, so the purposes of this researce are find out an effect of boron doping in graphene against electrical properties and graphene structure. Modification Hummer's Method followed by hydrothermal process are used for reduced graphene oxide (rGO) synthesis. This research used boric acid H_3BO_3 Solution 1M with variation 1ml, 2 ml, and 3 ml as source of boron atoms. The properties, Sampel of graphite, GO, rGO, B-rGO are characterized using XRD, SEM-EDX, FTIR, FPP, and CV. The capacitive properties of electrodes are measured by Cyclic voltammetry (CV) test with a scan rate range of 5, 10, 50 and 100 mV / s. From the results that show if boron doping can increase specific capacitance of reduced graphene oxide from 164.2 F/g to 192.5 F/g after borong doping with 4.37 at% using Na_2SO_4 1M solution.

Keywords : *Graphene, rGO, Supercapacitor, EDLC, Doping, Boron, Capacitance*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul **“Analisa Pengaruh Doping Boron Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene”** yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, dan bimbingan kepada penulis hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan moril, materiil dan doa.
2. Ibu Diah Susanti, S.T.,M.T.,Ph.D dan bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Pendanaan penelitian dari Ibu Diah Susanti, ST., MT., Ph.D melalui Penelitian Lab Based Education Dana Non PNPB ITS Tahun 2017 No 818/PKS/ITS/2017
5. Bapak Dr. Budi Agung Kurniawan S.T, M.ST selaku dosen wali yang membimbing penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
6. Seluruh dosen Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan ilmu yang dapat menjadi bekal untuk masa yang akan datang.
7. Mba Yeny Widya Rakhmawati selaku petugas Lab Kimia Material dimana sering membantu penulis dalam penelitian ini.

8. Alit Juliani dan teman-teman anggota Laboratorium Kimia Material yang telah membantu penulis dalam menyusun laporan ini.
9. Seluruh pihak, pegawai dan petugas penguji yang telah membantu dalam penulisan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua.

Surabaya, Janury 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Graphene</i>	5
2.1.1 Morfologi <i>Graphene</i>	7
2.1.2 Sifat Listrik <i>Graphene</i>	10
2.2 Sintesis <i>Graphene</i>	12
2.2.1 Ultrasonikasi.....	15
2.2.2 <i>Hydrothermal</i>	16
2.2.3 Boron <i>Graphene</i>	16
2.3 Kapasitor.....	20
2.2.1 Superkapasitor	21
2.2.2 <i>Electrochemical Double-layer Capacitors</i>	23
2.2.3 Karakterisasi Superkapasitor	27
2.4 Penelitian Sebelumnya	27

BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1	Bahan Penelitian.....	29
3.2	Alat Penelitian	29
3.3	Metode Penelitian.....	32
3.3.1	Sintesis Grafit Oksida(GO)	33
3.3.2	Sintesis Reduced <i>Graphene Oxide</i> (<i>rGO</i>)	35
3.3.3	Sintesis Boron doped <i>Graphene</i> (<i>B-rGO</i>)	37
3.3.4	Pembuatan Elektroda.....	39
3.4	Pengujian.....	41
3.4.1	Scanning Electron (SEM) dan EDS.....	42
3.4.2	X-Ray Diffraction (XRD).....	44
3.4.3	Fourir Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	46
3.4.4	Four Point Probe (FPP).....	47
3.4.5	Cyclic Voltammetry (CV)	50

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)	53
4.2	Hasil Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR) ...	59
4.3	Hasil Pengujian SEM-EDS.....	63
4.4	Hasil Pengujian Four Point Probe (FPP)	76
4.5	Hasil Pengujian Cyclic Voltametry (CV).....	78

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	89
5.2	Saran.....	89

DAFTAR PUSTAKA.....	xix
---------------------	-----

LAMPIRAN	xxiv
----------------	------

BIODATA PENULIS.....	xlvi
----------------------	------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Aneka Struktur Kristal Material Karbon	5
Gambar 2.2	Struktur Kristal Material Grafit dan <i>Graphene</i>	7
Gambar 2.3	Hasil SEM <i>Graphene</i> Perbersaran 10.000	8
Gambar 2.4	Kurva XRD dan FTIR dari Grafit, GO, dan rGO.....	9
Gambar 2.5	Struktur Ikatan σ dan π pada Material <i>Graphene</i> ...	10
Gambar 2.6	Band Gap pada <i>Graphene</i>	11
Gambar 2.7	Alur Proses Sintesis material <i>Graphene</i>	12
Gambar 2.8	Diagram Alir Sintesis <i>Graphene</i>	13
Gambar 2.9.	Permodelan struktur kisi <i>graphene</i> boron	17
Gambar 2.10	Metode Hummer.	18
Gambar 2.11	Hasil Pengujian CV Yeom. (2015)	19
Gambar 2.12	Kapasitor Konvensional	20
Gambar 2.13	Ragone Plot	22
Gambar 2.14	EDLC	24
Gambar 2.15	Kurva CV pada supercapasitor.....	26
Gambar 2.16	Band Gap pada Semi-Konduktor Type-P karena Pengaruh Penambahan Hole (Marconcini. 2012)	27
Gambar 3.1	Flowchart Proses Sintesis Grafit Oksida	33
Gambar 3.2	Flowchart Proses Sintesis <i>rGO</i>	35
Gambar 3.3	Flowchart Proses Sintesis Boron <i>Graphene</i>	37
Gambar 3.4	Flow Chart Proses Pembuatan Elektroda	39
Gambar 3.5	Flowchart Pengujian Penelitian	41
Gambar 3.6	Mekanisme Kerja Alat SEM	42
Gambar 3.7	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	43
Gambar 3.8	Metode Difraksi X-Rays	44
Gambar 3.8	Instrumen XRD PAN Alytcal	45
Gambar 3.9	Alat Uji FTIR	47
Gambar 3.10	Skematik Four Point Probe	48
Gambar 3.11	Sel Standar 3 Elektroda	50

Gambar 4.1 XRD pada sampel Grafit, GO, dan rGO	54
Gambar 4.2 Pola pengujian XRD sampel rGO dan B-rGO	56
Gambar 4.3 Pola Spektrum Grafit, Grafit Oksida, rGO	60
Gambar 4.4 FTIR rGO dan B-rGO	62
Gambar 4.5 Hasil SEM 5.000x grafit, grafit oksida, <i>rGO</i>	64
Gambar 4.6 Distribusi <i>Graphene</i> perbesaran 1000x	65
Gambar 4.7 Hasil SEM <i>nickel foam</i>	66
Gambar 4.8 Hasil SEM <i>Nickel Foam</i> yang terdeposit <i>rGO</i>	67
Gambar 4.9 Hasil SEM rGO dan B-rGO	69
Gambar 4.10 Hasil Kurva EDS untuk rGO	70
Gambar 4.11 Hasil Kurva EDS untuk B-rGO 1	71
Gambar 4.12 Hasil Kurva EDS untuk B-rGO 2	72
Gambar 4.13 Hasil Kurva EDS untuk B-rGO 3	73
Gambar 4.14 Grafik pengaruh penambahan H_3BO_3 pada persentase Kandungan atom Boron pada B-rGO	74
Gambar 4.15 Grafik Regresi Pengaruh Penambahan H_3BO_3 pada Persentase Kandungan Atom Boron B-rGO	75
Gambar. 4.16 Grafik Perbandingan Konduktifitas Listrik pada rGO dan B-rGO	77
Gambar 4.17 Perbandingan hasil uji CV grafik I vs E sampel elektroda Ni-G dan Ni-B-rGO	79
Gambar. 4.18 Perbandingan hasil uji CV grafik F vs E sampel elektroda Ni-G dan Ni-B-rGO	80
Gambar. 4.19 Nilai <i>Spesific Capacitance</i> Material rGO dan B- rGo terhadap Penambahan Jumlah Atom Boron	83
Gambar 4.20 Pengaruh <i>Scan Rate</i> terhadap nilai <i>Spesific</i> <i>Capacitance</i> Material rGO dan B-rGO	85
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai <i>Specific Power</i> dan <i>Specific Energy</i> Pada rGO dan B-rGO	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan sifat dari material karbon	6
Tabel 2.2 Perbandingan nilai kapasitansi <i>Graphene</i>	28
Tabel 3.1 Informasi hasil Pengujian XRD.....	46
Tabel 4.1 d_{spacing} dari sampel grafit, grafit oksida, dan rGO	55
Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai d_{spacing} dari rGO dan B-rGO ...	57
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan <i>Crystallite Size</i> rGO dan B-rGO ...	58
Tabel 4.4 Jenis gugus ikatan pada sampel rGO	61
Tabel 4.5 Gugus Ikatan boron pada sampel B-rGO)	63
Tabel 4.6 Komposisi unsur penyusun <i>rGO</i>	70
Tabel 4.7 Komposisi unsur penyusun B-rGO 1ml	71
Tabel 4.8 Komposisi unsur penyusun B-rGO 2ml	72
Tabel 4.9 Komposisi unsur penyusun B-rGO 3ml	73
Tabel 4.10 Hasil FPP pada sampel rGO dan B-rGO	76
Tabel 4.11 Perbandingan hasil <i>Spesific Capacitance</i> Terhadap <i>Scan Rate</i> dan Jumlah Doping Atom Boron	82
Tabel 4.12 Perbandingan hasil Energi Spesifik dan Daya Spesifik Terhadap <i>Scan Rate</i> dan Jumlah Doping Atom Boron	86

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era modern sekarang ini manusia dituntut untuk dapat mengembangkan teknologi dan ilmu pengetahuan guna membantu kesehariannya. Salah satu pengembangan yang dikembangkan adalah teknologi pemilihan material (*material selection*). Material merupakan komponen penting dalam pengembangan teknologi.

Pemilihan material akan berdampak pada isu mengenai pemanfaatan energy yang lebih efisien, mulai dari sumber energi baru, terobosan energi alternatif, sampai pengembangan media penyimpanan energi. Media penyimpan energi yang dipakai pada alat elektronik sehari-hari adalah baterai dan kapasitor. Selama ini baterai memang dianggap efektif untuk menjadi sumber daya bagi alat yang membutuhkan voltase rendah. Namun, terdapat kelemahan jika sering dipakai maka baterai akan mengalami *voltage drop*. Adanya superkapasitor yang dipasang pada baterai akan meningkatkan performa dan umur pakai baterai.

Superkapasitor merupakan teknologi baru yang dikembangkan dari kapasitor konvensional. Kapasitor ini memanfaatkan permukaan elektroda yang luas dan konduktifitas listrik yang tinggi untuk mencapai nilai kapasitansi yang jauh lebih besar daripada kapasitor konvensional. Hal ini memungkinkan superkapasitor akan memiliki rapat energi yang jauh lebih besar dibanding dengan kapasitor konvensional dan memiliki rapat daya jauh lebih besar daripada baterai. Sehingga, superkapasitor menjadi solusi yang sangat baik sebagai piranti penyimpan energi. Hal ini dikarenakan kapasitas penyimpanan muatan yang sangat besar, proses charge-discharge yang cepat dan tahan lama diantara kapasitor biasa. Keunggulan ini membuat superkapasitor telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang khususnya bidang teknologi digital, mesin listrik dan peralatan militer dan luar angkasa. (Riyanto, 2006)



Graphene yang merupakan salah satu material karbon dengan struktur yang berbentuk dua dimensi yakni *single layer*, telah dikenal sebagai material yang baik untuk media penyimpanan energi dimana yang salah satunya adalah superkapasitor. Hal ini dikarenakan *graphene* memiliki sifat konduktifitas listrik dan luas permukaan spesifik yang baik, serta sifat mekanik yang superior dan kesetimbangan yang baik. Luas permukaan spesifik yang sangat tinggi, mencapai $1500 \text{ m}^2/\text{gram}$ mengakibatkan proses pengisian muatan yang cepat karena luasnya permukaan aktif sebagai pengisi elektroda saat proses charging-discharging (Chaoche, 2013)

Thirumala (2016) menyatakan bahwa pendopongan *heteroatoms* dalam material nanostruktur karbon dapat meningkatkan efektifitas dari media penyimpanan energi dalam superkapasitor. Dengan doping atom boron dalam *nanosheets* dapat meningkatkan hingga 100% sifat kapasitansi yang semula dari 53 F/g (1 A/g) pada *thermally reduced graphene nanostructure* menjadi 113 F/g (1 A/g) pada *boron doped graphene nanostructure*. Dari penelitian diatas maka perlunya penelitian lebih lanjut untuk pengembangan bahan *graphene* dengan doping boron guna meningkatkan sifat kapasitansinya untuk aplikasi superkapasitor dengan metode lain agar didapatkan hasil yang lebih signifikan dari *boron doped graphene nanosheet*,

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah di tuliskan, masalah yang dapat dirumuskan untuk penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh doping atom boron terhadap struktur & morfologi material *graphene* sebagai elektroda superkapasitor?
2. Bagaimana pengaruh doping atom boron terhadap sifat kapasitif material *graphene* sebagai elektroda superkapasitor?



1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi banyaknya parameter penelitian guna mendapatkan hasil yang sesuai dan hal yang diinginkan serta tidak menyimpang dari masalah yang telah dirumuskan, maka terdapat beberapa batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kecepatan stirring dianggap konstan
2. Tekanan dari autoclave dianggap Seragam
3. Temperatur dan tekanan pada ruang dianggap konstan
4. Ukuran grafit dianggap seragam
5. Impuritis pada serbuk grafit dan bahan kimia diabaikan
6. *pH* Aquades dianggap Netral
7. Luas Permukaan Nickel foam dianggap sama

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Terdapat beberapa tujuan dari penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Menganalisa pengaruh doping atom boron terhadap struktur dan morfologi material *graphene* sebagai elektroda superkapasitor.
2. Menganalisa pengaruh doping atom boron terhadap sifat kapasitif material *graphene* sebagai elektroda superkapasitor.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Penelitian ini memiliki manfaat untuk menghasilkan material *graphene* dengan doping atom boron yang memiliki sifat kapasitif yang baik untuk aplikasi elektroda superkapasitor serta bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya dalam pengembangan material berbahan *graphene*.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

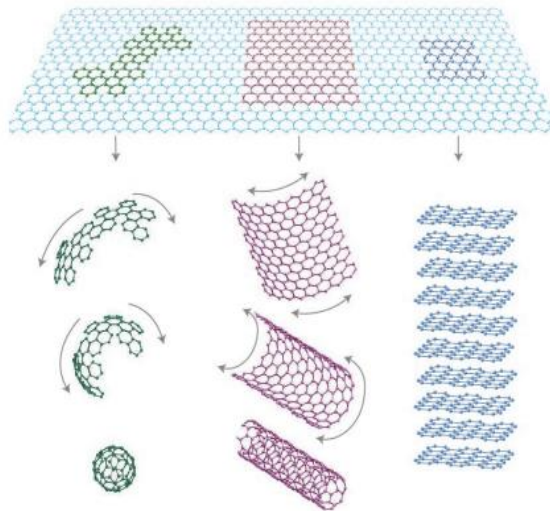
BAB I PENDAHULUAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Graphene*

Graphene adalah material karbon dengan satu lapisan yang memiliki bentuk kisi heksagonal (honeycomb), dengan jarak antar karbon sekitar 1.44 Å. Ini adalah kristal dua dimensi pertama yang ada dan merupakan representasi dari keseluruhan material dengan kisi kristal dua dimensi, struktur dua dimensi ini muncul akibat mengalami hibridasi sp^2 . *Graphene* merupakan unsur struktur dasar dari alotrop karbon, meliputi grafit, tabung nano karbon, dan fullerena seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.1**. *Graphene* juga dapat dianggap sebagai senyawa karbon dengan ikatan aromatik yang merupakan bagian dari kelompok dengan senyawa hidrokarbon polisiklik aromatik bidang datar. (Novoselov, 2005).



Gambar 2.1 Aneka Struktur Kristal Material Karbon
(Giannazzo. 2011)



Graphene memiliki keunggulan karena mempunyai konduktivitas listrik yang tinggi dan rendahnya gangguan, yang membuat *graphene* ini tidak mengalami perubahan dan kerusakan dalam aplikasinya. Selain itu *graphene* memiliki mobilitas pembawa intrinsik yang tinggi ($200.000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$), transmitansi optik besar (97,7%), Luas permukaan spesifik secara teoritis ($2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), dan alasan kekuatan mekanik yang superior. (Schedin. 2007)

Selain itu dalam penelitiannya Wu 2012 (**Tabel 2.1**), menunjukkan perbandingan sifat allotropic karbon. Menunjukkan bahwa *graphene* memiliki sifat-sifat elektronik yang unggul, di antara mobilitas pembawa muatan dan konduktivitas yang tinggi

Tabel 2.1 Perbandingan sifat dari material karbon

	Grafit	Intan	Fullerene	Graphene
Hibridisasi	sp^2	sp^2	sp^2	sp^2
Sistem Kristal	Heksa	Okta	Tetra	Heksa
Dimensi	3	3	0	2
Massa Jenis (g cm^{-3})	2.23	3.53	1.72	>1
Luas Permukaan ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$)	10-20	20-160	80-90	1500
Sifat Optik	Uniaksial	Isotropik	Nonlinier	Transmitan Optik
K. Termal ($\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	1500-2000	900-2320	0.4	4840-5300
Kekerasan	Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	Tertinggi
Sifat Elektronik	Konduktor	Insulator	Insulator	Semi-konduktor
K. Elektrik (S cm^{-1})	3×10^4	-	1×10^{-10}	2000

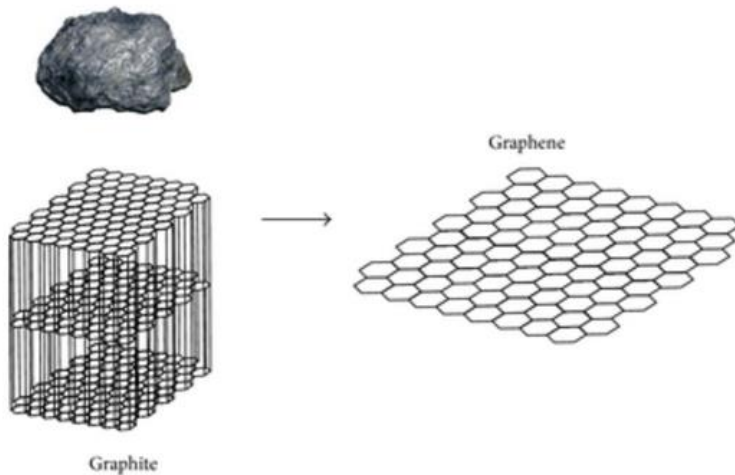
Sumber : Wu (2012)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



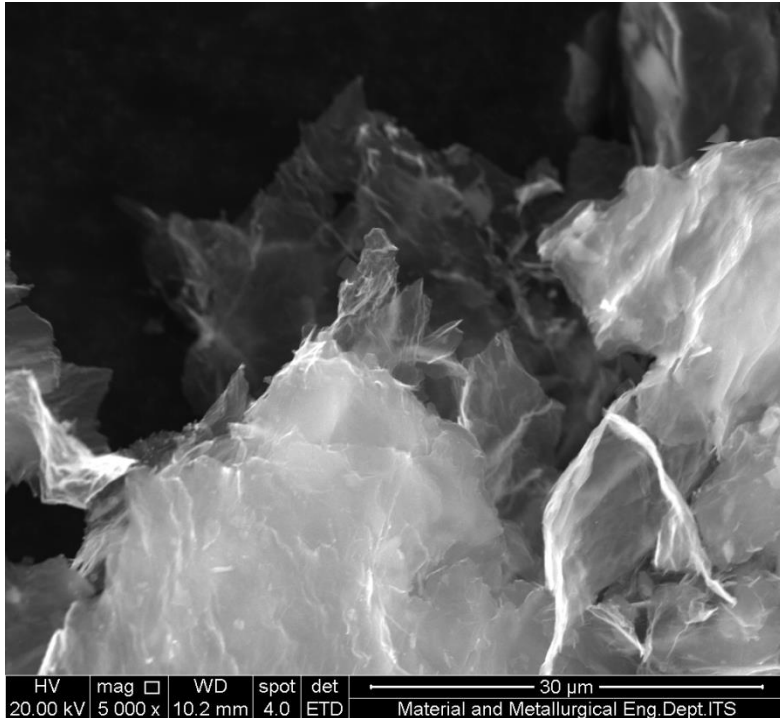
2.1.1 Morfologi *Graphene*

Graphene didefinisikan sebagai satu lapis atom karbon yang tersusun dalam kristal heksagonal (**Gambar 2.2**). Struktur sederhana *graphene* ini dipisahkan satu dengan lainnya dengan jarak antar atom karbon-karbon $a_{c-c} = 1.44 \text{ \AA}$. Struktur ini dihasilkan oleh pengelupasan lapisan grafit yang merupakan struktur carbon heksagonal *multi-layer* (Choi dan Lee, 2012).



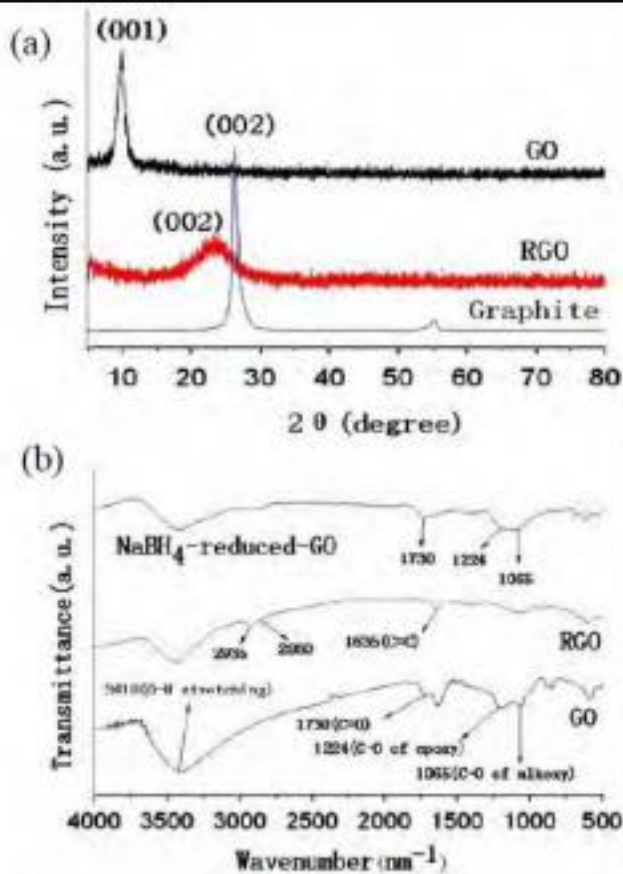
Gambar 2.2 Struktur Kristal pada Material Grafit dan *Graphene* (Choi dan Lee, 2012).

Morfologi *graphene* dapat dilihat dengan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) (**Gambar 2.3**). Pada daerah tersebut tampak beberapa daerah tipis yang menandakan adanya *single layer graphene*. Daerah yang lebih tebal merupakan morfologi dari *few-layer graphene*. Ketebalan *graphene* dapat dilihat dari warna dimana semakin cerah menunjukkan bertambahnya ketebalan struktur *graphene* (Diah. 2017)



Gambar 2.3 Hasil SEM Material Graphene Perbersaran 10.000x (Safitri, dkk 2017).

Selain SEM, untuk menjelaskan struktur dari *graphene* dilakukan juga uji *Fourir Transform Infra Red* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Perbedaan kurva XRD antara grafit, grafit oksida, dan *graphene*, **gambar 2.4 (a)** menjelaskan perbedaan kurva XRD tersebut. Tampak bahwa letak peak dari ketiga material tersebut berbeda. Selain XRD, jenis ikatan dari *graphene* dapat digambarkan melalui spektrum FTIR. **Gambar 2.4 (b)** menunjukkan perbedaan spektrum FTIR antara grafit oksida (GO), *Reduced Graphene Oxide* (rGO), dan NaBH₄-rGO. (Liu. 2013)

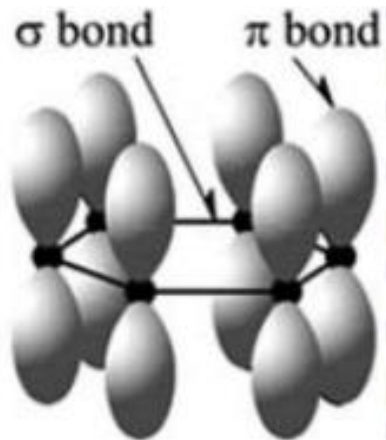


Gambar 2.4 (a) Kurva XRD dari Grafit, GO, dan rGO, (b) Spektrum FTIR dari GO, rGO, dan NaBH₄-rGO (Liu. 2013).

Pola difraksi *reduced graphene oxide*, menandakan ciri material dengan struktur kristal amorf, dengan puncak yang tidak tajam. Puncak difraksi dari *reduced graphene oxide* dimulai pada sekitar sudut $2\theta = 16^\circ$ dan terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada sekitar sudut $2\theta = 23^\circ$ - 24° , selanjutnya akan turun hingga pada sudut $2\theta = 28^\circ$ (Nasrullah, 2014).

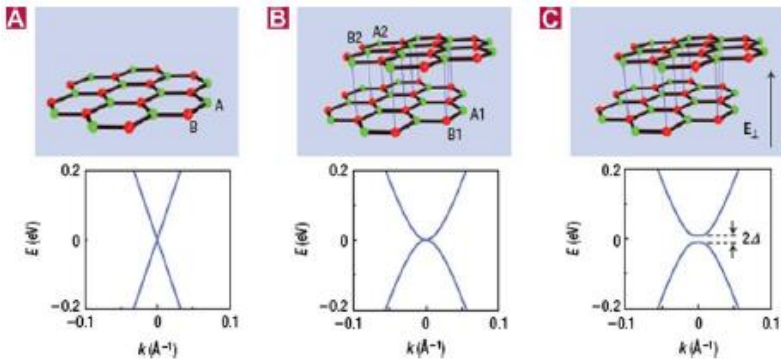
2.1.2 Sifat Listrik *Graphene*

Tiap atom karbon dalam *graphene* mempunyai satu orbital s dan tiga orbital p (**Gambar 2.5**). Satu orbital s dan dua orbital p digunakan untuk membentuk ikatan kovalen yang kuat sedangkan satu elektron bebas yang berada pada subkulit p membentuk orbital phi (π) yang tegak lurus dengan lembaran *graphene* yang akhirnya akan menentukan sifat-sifat elektrik dari *graphene*. (Stolyarova, 2007)



Gambar 2.5 Struktur Ikatan σ dan π pada Material *Graphene*
(Choi, dkk., 2010).

Graphene murni yang merupakan sebuah kisi karbon heksagonal dua dimensi adalah sebuah material konduktor dengan sifat *zero bandgap*. *Zero bandgap* ini mengakibatkan massa efektif elektron dan lubang heksagonalnya bernilai nol. (Charlier, dkk. 2008). Hibridisasi sp^2 atom karbon tersusun dalam bentuk heksagonal dalam lapisan dua dimensi. Satu cincin heksagonal terdiri dari tiga ikatan *in-plane* sigma orbital p_z yang tegak lurus terhadap bidang heksagonal. Semakin bertambahnya lapisan *graphene* maka nilai *bandgap* semakin besar seperti yang di tunjukan pada **Gambar 2.6** (c).



Gambar 2.6 Band Gap pada *Graphene*. (Singh, et al. 2011).

Kurva dispersi energi *graphene* tidak memiliki energi gap, dan kedua pitanya tidak saling berimpit. Disekitar energi fermi, kurva dispersinya berbentuk linier. Bentuk pita demikian membuat *graphene* bersifat semimetal dan sangat konduktif. Namun tidak adanya celah energi pada *graphene* membuatnya menjadi memiliki keterbatasan dalam aplikasi teknologi transistor. Karena pita energi memiliki peran penting dalam aplikasi teknologi modern, maka eksplorasi terhadap sifat struktur pitanya telah banyak dilakukan dengan memberikan atom atau molekul tambahan untuk memecah pita energinya sehingga diperoleh *graphene* yang bersifat semikonduktor. Dengan pemilihan molekul yang tepat dapat menjadikan *graphene* bersifat semikonduktor tipe-p atau tipe-n, sehingga potensial dalam proses pabrikan transistor yang berukuran lebih kecil. (Geim, A. 2007)

Sebagai konduktor dengan *zero bandgap*, *graphene* menunjukkan sebuah efek medan listrik *ambipolar* dan pembawa muatan yang dapat diatur terus-menerus antara elektron dan *holes* dalam konsentrasi setinggi 10^{13} cm^{-2} , dengan mobilitas elektron di temperatur ruang hingga $15.000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$. (Zhou, et al. 2009)

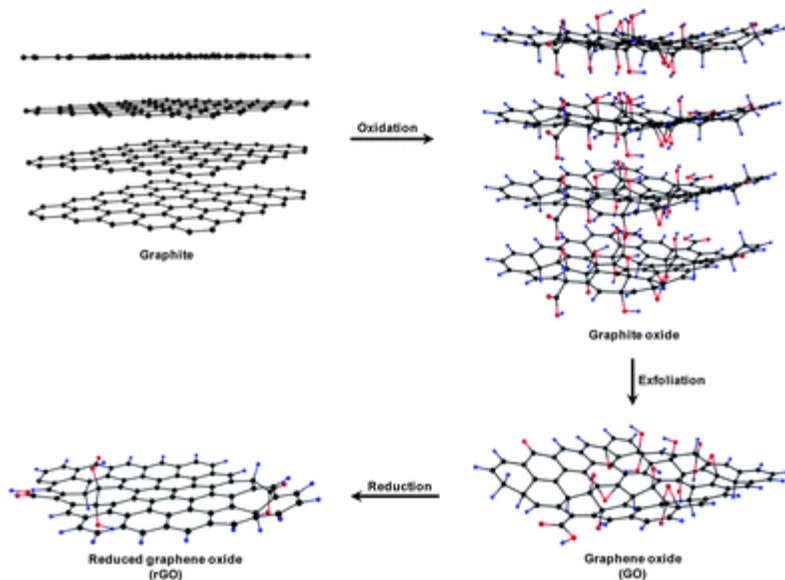
Graphene memiliki luas permukaan sebesar $2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ dapat membentuk lapisan-lapisan dan menghasilkan ruang-ruang



yang dapat menyimpan energi sehingga bisa digunakan sebagai superkapasitor. Superkapasitor dari *graphene* ini mempunyai rapat massa yang tinggi dibandingkan dengan kapasitor-kapasitor dielektrik konvensional. Selain itu superkapasitor dari *graphene* memiliki range yang besar dalam menangkap energi dan menyimpan energi.

2.2 Sintesis *Graphene*

Sintesis *graphene* dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu *chemical vapor decomposition* (CVD), *micromechanical exfoliation* dengan menggunakan *scotch tape*, dan penumbuhan epitaxial diatas substrate SiC. Namun metode *microchemical exfoliation* tidak efisien untuk dilakukan, sedangkan metode CVD dan penumbuhan *epitaxial* membutuhkan biaya yang sangat mahal.



Gambar 2.7 Alur Proses Sintesis material *Graphene* dari Grafit
(Singh, dkk., 2011)



Adapun cara lain untuk melakukan sintesis *graphene* adalah menggunakan metode sintesis secara kimia melalui sintesis grafit oksida (GO) terlebih dahulu kemudian ikatan oksida pada GO direduksi dengan menggunakan suatu senyawa kimia agen pereduksi. Sintesis GO secara kimia menggunakan bubuk grafit yang dioksidasi dengan asam kuat disebut dengan metode Hummer. Metode ini dikenal dengan cara kotor untuk memperoleh *graphene*, karena hasil sintesisnya masih mengandung atom-atom pengotor yang berikatan pada struktur karbon penyusun *graphene*. (Hummer. 1959)

Sebelum melakukan reduksi grafit oksida, maka grafit oksida harus diproduksi melalui proses oksidasi grafit. Alur proses pembuatan *graphene* dari grafit ditunjukkan pada **Gambar 2.7** dan **Gambar 2.8**. Kelebihan mensintesis *graphene* dengan model ini, adalah *graphene* yang diperoleh bisa dalam jumlah yang banyak. Selain itu, peralatan yang digunakan tergolong mudah dan tidak terlalu susah dalam aplikasinya. Sedangkan kekurangan dari metode ini, adalah *graphene* yang dihasilkan cenderung mempunyai tingkat *defect* atau cacat yang tinggi, karena permukaan *graphene* berkali-kali bersentuhan langsung dengan senyawa kimia baik itu oksidator maupun reduktor, sehingga terdapat banyak *impurities* dan struktur yang tidak sempurna pada permukaan *graphene*. Selain itu, konduktivitas material yang dihasilkan juga rendah.

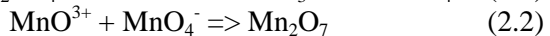


Gambar 2.8 Diagram Alir Sintesis *Graphene* (Choi, et al. 2012).

Proses oksidasi grafit menjadi grafit oksida dilakukan dengan menggunakan metode *Hummer*. Metode Hummer menggunakan larutan NaNO_3 , H_2SO_4 , KMnO_4 , dan H_2O_2 . Produk oksidasi kemudian dimurnikan dengan pencucian 5% HCl, dan dilanjutkan dengan pencucian aquades (Tien. 2012). Mn_2O_7



merupakan oksidan (dihydroxylations) dari permanganate. Terbentuk larutan berwarna ungu dari hasil reaksi KMnO_4 dengan H_2SO_4 . Aktivasi ion MnO_4^- yang sangat *reaktif* hanya terjadi pada kondisi asam sesuai **persamaan 2.1** dan **persamaan 2.2**. Transformasi MnO_4^- menjadi bentuk yang lebih reaktif Mn_2O_7 akan sangat membantu mengoksidasi grafit, tetapi membentuk larutan yang dapat meledak jika mengalami pemanasan melebihi 55°C . Tromel dan Russ telah membuktikan kemampuan Mn_2O_7 dalam memilih oksida berikatan rangkap alifatik lebih ikatan rangkap aromatik. Hal ini merupakan gambaran penting struktur grafit dan proses reaksi yang terjadi selama oksidasi (Dreyer, et al. 2009).



Grafit dicampurkan dengan H_2SO_4 pada temperatur 0°C . Kemudian di-*stirring* dengan penambahan KMnO_4 secara bertahap. Proses *stirring* harus dijaga pada temperatur dibawah 35°C selama 24 jam. Proses berikutnya adalah penambahan aquades pada campuran. Karena penambahan aquades pada H_2SO_4 akan melepaskan sejumlah panas, maka temperaturnya harus dikontrol kurang dari 100°C . 30% H_2O_2 harus ditambahkan dalam campuran untuk mereduksi sisa KMnO_4 . Ketika hidrogen peroksida ditambahkan maka terbentuk gelembung-gelembung dan warna larutan berubah menjadi kuning cerah. Selanjutnya untuk menghilangkan ion-ion dari aquades maka campuran harus dicuci dengan menggunakan HCl 5%. Produk campuran kemudian dikeringkan pada temperatur 120°C selama 12 jam (Wu, et al. 2015).

Namun, produk Hummer biasanya adalah bagian intinya berupa grafit sedangkan bagian luarnya adalah oksida grafit (GO). Untuk mengatasi hal ini, maka perlu dilakukan perlakuan sebelum melakukan proses Hummer untuk meningkatkan derajat oksidasi. Metode pra-oksidasi ini pertama kali diperkenalkan oleh



Kovtukhova (1999), Grafit dicampurkan dengan H_2SO_4 , $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ dan P_2O_5 dijaga pada temperatur 80 °C selama 6 jam. Hasil campuran kemudian dicuci dengan air dan dikeringkan. Selain dengan Pra-oksidasi, untuk menghasilkan produk GO yang sempurna metode Hummer juga dapat dimodifikasi dengan menambah jumlah potassium permanganat.

2.2.1 Ultrasonikasi

Grafit oksida memiliki struktur yang berlapis yang sama seperti grafit, namun bidang dari atom karbon pada grafit oksida dihiasi oleh kelompok gugus oksigen, yang tidak hanya memperlebar jarak antar lapisan tetapi juga membuat lapisan atom hidrofilik. Maka lapisan teroksidasi ini dapat diperlebar jarak antar layer-nya dengan proses ultrasonikasi menghasilkan *graphene oxide*. *Graphene oxide* ini yang akan direduksi menjadi *graphene* dengan menghilangkan gugus fungsi oksigen dan memperbaiki strukturnya. Untuk memperbaiki cacat struktural dapat menggunakan dua metode, yaitu grafitisasi pada temperatur tinggi dan epitaxial growth; atau CVD pada daerah cacat dengan penambahan suplai karbon (Pei dan Cheng, 2012).

Ultrasonikasi / sonikasi merupakan langkah penting yang menyediakan energi untuk mengelupaskan lembaran *graphene* dari grafit oksida. Cara alternatif untuk mengelupaskan lembaran *graphene* adalah dengan memanaskan larutan yang mengandung grafit, tetapi cara ini tidak efektif dibandingkan dengan proses ultrasonikasi. Pada umumnya terdapat dua cara untuk mengaplikasikan ultrasonikasi pada larutan yang mengandung grafit yaitu sonication bath dan tip sonication. Pada sonication bath, daya ultrasonikasi yang ditransfer menuju tabung yang diisi pelarut dan grafit akan dipengaruhi oleh berapa banyak air yang ditempatkan pada wadahnya, apakah tabung menyentuh dasar wadah, dan lokasi tabung dalam wadah. Untuk hasil yang lebih baik, disarankan untuk menjaga tiga parameter dengan konsisten. (Warner, et al. 2006)



2.2.2 *Hydrothermal*

Prinsip dasar dari proses hydrothermal adalah menghasilkan temperatur dan tekanan tinggi untuk melarutkan dan merekristalisasi material yang tidak bisa berlangsung pada kondisi normal. Untuk melakukan proses hidrotermal, diperlukan autoclave sebagai wadah sampel. Hal yang dapat dicapai dengan proses hidrotermal antara lain sintesis fasa baru atau stabilisasi dari kompleksitas baru; pertumbuhan kristal dari beberapa senyawa kimia; preparasi dari proses penghalusan material dan mikrokatalisis dengan ukuran dan morfologi yang presisi untuk aplikasi tertentu; pencucian bijih dalam ekstraksi logam; dan dekomposisi, alterasi, korosi, dan etsa. Byrappa (2001)

Dalam penelitiannya, Zhou, dkk (2009) menyatakan bahwa dengan metode hidrotermal yang mudah, bersih, dan terkontrol dapat mengubah *graphene oxide* menjadi larutan *graphene* yang stabil. Supercritical water (SC) yang digunakan dalam proses hidrotermal dapat menjadi agen reduktor yang baik dan menjadi alternatif pelarut organik dalam kimia ramah lingkungan. Dalam proses hidrotermal, SC mampu mereduksi gugus fungsi oksigen dari grafit oksida dan memperbaiki struktur aromatikannya. Gugus fungsi oksigen akan larut dalam SC karena tekanan dan juga temperatur yang ada saat proses *hydrothermal* hal ini membuat pelebaran dan melemahnya ikatan gugus oksigen dengan *layer graphene oxide*. Keunggulan proses hidrotermal dikemukakan oleh Ha, Muralidharan, dan Kim (2009) yaitu proses sintesis mudah, pengontrolan bentuk dan ukuran serbuk, temperatur operasi yang rendah, homogenisasi tinggi, dan biaya operasional rendah.

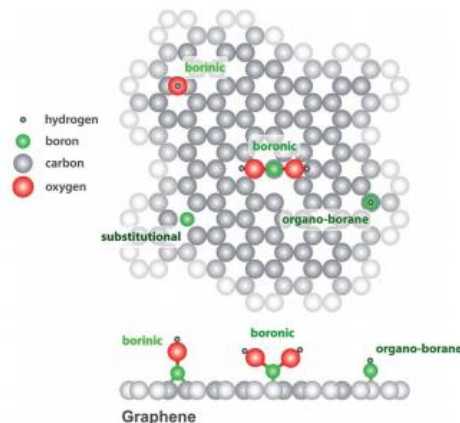
2.2.3 *Boron Graphene*

Boron graphene B-rGO sudah mulai menunjukkan potensi besarnya di beberapa teknologi. Secara khusus, ini juga merupakan bahan utama untuk mewujudkan anoda LiB dan supercapacitors. Kombinasi boron akan menghasilkan performa yang lebih baik dari pada doping lain dalam *graphene*.



Pengetahuan tentang (B-rGO) merupakan material yang berkembang pesat dan semakin mendapatkan perhatian di beberapa bidang teknologi. Beberapa metode untuk mensistesis material B-rGO akan menghasilkan morfologi dan komposisi kimia yang berbeda, tetapi dalam mensistesis material B-rGO yang sempurna tanpa *defect* masih jauh dari sempurna. (Agnoli, S. 2016)

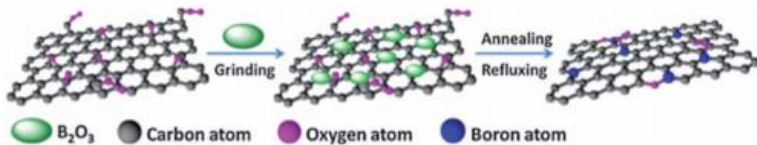
Salah satu metode adalah dengan pencampuran grafit oksida dengan asam kandungan boron. Kondisi asam dalam larutan akan mempercepat oksidasi karbon sehingga akan membentuk hole pada *graphene* yang nantinya akan diisi dengan ikatan boron. Ikatan boron memiliki tiga jenis pada umumnya yang dapat mengisi kekosongan pada struktur *graphene*, *boronic*, *borinic*, dan *organo-borane* (**Gambar 2.9**) (Agnoli, 2016)



Gambar 2.9. Permodelan struktur kisi *graphene* dalam pendopingan beberapa atom boron (Agnoli, 2016)

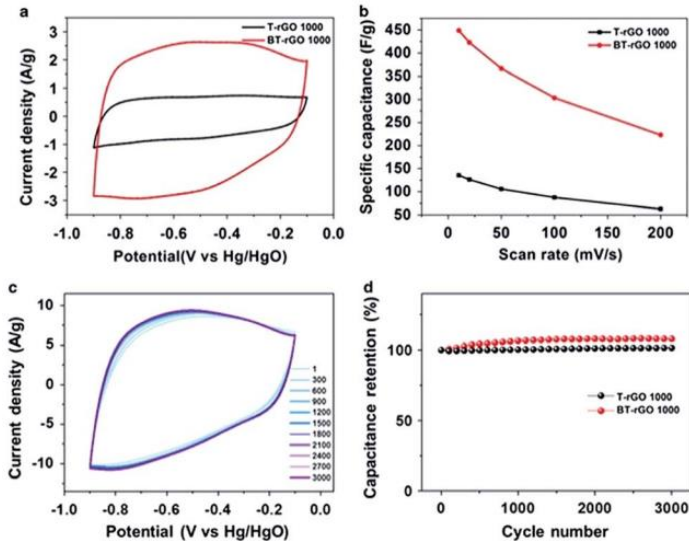
Dalam proses sintesis B-G menggunakan metode Hummer digunakan asam boric atau B_2O_3 . dalam keadaan solid statenya (**Gambar 2.10**). Dua material ini di-*grinding* bersamaan lalu di annil dengan temperatur tinggi ($900-1200^{\circ}C$) dalam keadaan

atmosphere Ar. Saat proses anil reduksi *graphene* akan dimasuki oleh boron dalam waktu yang bersamaan. Atom boron akan menggantikan kekosongan karbon dalam kisi sp^2 dengan tingkatan doping 0.5 – 10 %



Gambar 2.10 Proses Doping Atom Boron dengan Metode Hummer. (Agnoli, 2016).

Dalam produksi Superkapasitor, Yeom (2015) Telah menunjukkan bahwa B-doped reduced-GO (B-rGO, disintesis oleh annealing GO beku dengan adanya B_2O_3) dapat digunakan secara efisien sebagai kapasitor khususnya EDLC (**Gambar 2.11**). Penulis telah menunjukkan bahwa B-rGO menghasilkan konduktivitas listrik yang memuaskan (sekitar 44 S cm^{-1}) dan kapasitansi spesifik yang luar biasa (448 F g^{-1}) pada 6,0 M KOH (**Gambar 2.11**). Namun, penyimpanan energi yang diamati tidak sepenuhnya kompatibel dengan luas permukaan yang kurang dari material tersebut (sekitar $120 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). Seperti yang disarankan oleh Conway, supercapacitor berbasis karbon dengan konduktivitas berdaya tinggi dan luas permukaan sekitar $1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ harus memiliki kapasitansi spesifik beberapa ratus F g^{-1} . Oleh karena itu, ini mengindikasikan bahwa doping boron dapat mengenalkan reaksi lain yang belum dijelaskan, bertanggung jawab atas kapasitansi tinggi yang diamati. Dengan isyarat yang sama, Hao dkk. telah melaporkan bahwa *cyclability* supercapacitor B-rGO dapat diperbaiki dengan memperbaiki polianilin dalam struktur. Bahan hibrid yang terdesentralisasi juga ditandai oleh kapasitansi spesifik yang tinggi. (Yeom. 2015)



Gambar 2.11 Hasil Pengujian CV Pengujian T-rGO dan BT-rGO (Yeom. 2015).

Laporan lain dari beberapa penelitian menunjukkan sebuah cara dimana bahan boron didoping dapat berperan penting dalam pengembangan teknologi superkapasitor. Menariknya bahan dengan lebih banyak konten Boron menunjukkan kinerja terbaik, secara keseluruhan sehubungan dengan bahan baku *graphene* murni 4% B menunjukkan peningkatan kapasitif sebesar 86%. (Niu. 2013)

Kapasitansi yang sangat baik diperoleh pada pekerjaan Z. Zuo. Jalur sintesis khusus yang memanfaatkan *freeze dry* dan pirolisis memungkinkan material memiliki area permukaan tinggi ($622 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) dan kandungan boron yang baik (3%). Pada 1 A g^{-1} , kapasitansi spesifik adalah 281 F g^{-1} dipertahankan sangat stabil bahkan 4000 siklus. (Agnoli. 2016)

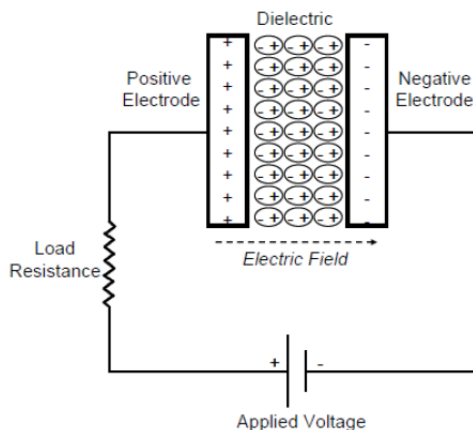


2.3 Kapasitor

Kapasitor merupakan perangkat elektronik yang dapat menyimpan dan memberikan energi. Kapasitor terbagi dalam dua grup dasar, kapasitor elektrolitik dan kapasitor elektrokimia. Kapasitor elektrolitik memiliki konstruksi dua keping logam sejajar yang disisipi material dielektrik diantara keduanya seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.12**, material seperti lapisan plastik dan keramik digunakan sebagai dielektrik, dengan berbagai jenis logam yang digunakan sebagai elektroda.

Kapasitor elektrokimia menggunakan elektrolit yang dapat memunculkan lapisan dielektrik dan juga membentuk kutub katoda. Logam foil atau serbuk, seperti halnya aluminium dan tantalum, digunakan untuk membentuk kutub anoda (KEMET Co. Ltd. 2010).

Saat tegangan listrik diberikan pada kapasitor, muatan berlawanan (berbeda) akan terakumulasi pada setiap permukaan elektroda. Muatan-muatan tersebut akan tetap terpisah oleh bahan dielektrik yang mengisi ruang antarpelat kapasitor, sehingga menghasilkan medan listrik yang menyebabkan kapasitor dapat menyimpan energi.



Gambar 2.12 Kapasitor Konvensional (Riyanto. 2006).



Kapasitansi didefinisikan sebagai perbandingan antara muatan yang tersimpan dalam kapasitor (Q) dengan potensial listrik (V) yang diberikan (Persamaan 2.3)

$$C = \frac{Q}{V} = C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{D} \dots \dots \dots (2.3)$$

Kapasitansi berbanding lurus dengan luas permukaan pada setiap permukaan dan berbanding terbalik dengan jarak antar muatan. Dengan ϵ_0 ialah konstanta dielektrik atau permitivitas ruang vakum dan ϵ_r ialah konstanta dielektrik bahan isolasi antara elektroda.

Kapasitor elektrokimia adalah kapasitor jenis khusus yang bekerja berdasarkan charging (pemasukan muatan) dan discharging (pelepasan muatan) dari interface material-material yang mempunyai luas spesifik yang tinggi seperti material karbon yang berpori atau beberapa oksida logam yang berpori. Kapasitansinya 10000 kali lebih tinggi daripada kapasitansi kapasitor elektrolitik dengan dimensi yang sama. Oleh karenanya, kapasitor elektrokimia sering juga disebut “superkapasitor” atau “ultracapasitor”. (Conway 1999).

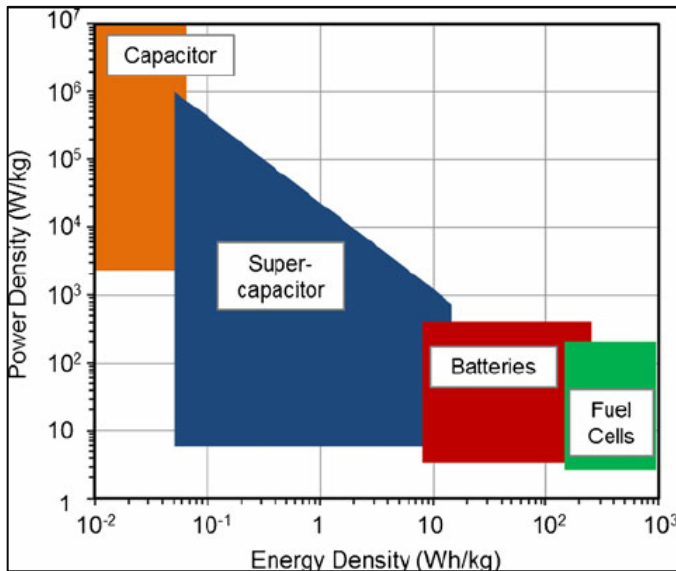
2.2.1 Superkapasitor

Superkapasitor adalah piranti elektrokimia yang dapat menyimpan energi dan melepaskannya kembali dengan kekuatan daya yang tinggi dan densitas arus yang tinggi selama selang waktu yang pendek. Sehingga, kapasitor sangat diunggulkan sebagai pengganti untuk baterai dan fuel cell pada berbagai variasi aplikasi, misalnya mobil dan piranti elektronik portable. Prinsip penyimpanan energi pada superkapasitor adalah akumulasi dari muatan elektrostatis pada elektroda- interface elektrolit atau transfer dari muatan ke dalam lapisan molekul yang mengalami reaksi redoks pada bagian permukaan dari elektroda (pseudokapasitor).

Kapasitor konvensional memiliki kerapatan daya yang relatif tinggi, namun relatif rendah kepadatan energi bila



dibandingkan dengan baterai elektrokimia dan baterai. Baterai dapat menyimpan lebih banyak energi dibanding kapasitor, tetapi tidak dapat dilakukan pengisian (pengecasan) secara cepat, yang berarti bahwa kerapatan daya rendah. Disisi lain, kapasitor menyimpan energi per satuan massa atau volume relatif lebih kecil, tapi energi listrik dapat disimpan dengan cepat untuk menghasilkan banyak daya, sehingga kerapatan dayanya tinggi relatif lebih tinggi. (Kotz, R. 2000)



Gambar 2.13 Ragone Plot - Rapat Daya terhadap Densitas Energi (Kotz and Carlen. 2000)

Kapasitor elektrokimia telah mampu menarik banyak perhatian karena densitas dayanya yang lebih tinggi dan siklus hidupnya yang lebih panjang bahwa dibandingkan dengan baterai, dan densitas energinya yang lebih tinggi bahwa dibandingkan dengan kapasitor konvensional (elektronik). Gambar Plot Ragone menunjukkan posisi berbagai alat penyimpanan energy ditinjau dari

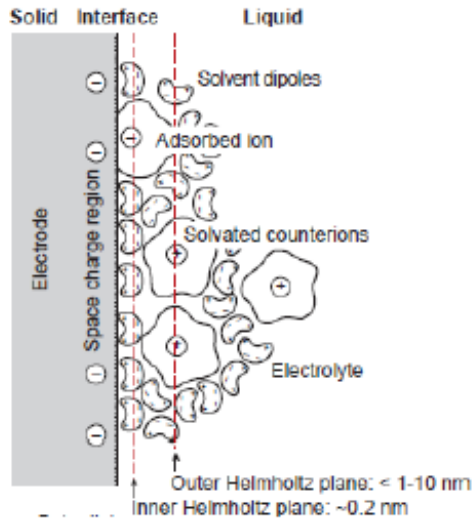


energi spesifik dan daya spesifiknya seperti pada **Gambar 2.13**. Baterai seperti pada Li-ion baterai dapat mencapai energy density hingga 180 Wh/kg dengan power density yang rendah sampai 1 kW/kg. Superkapasitor dapat memberikan power density yang tinggi (10 kW/kg) dengan energi tersimpan yang lebih rendah daripada baterai (5 Wh/kg) (Conway 1999).

2.2.2 *Electrochemical Double-layer Capacitors*

Electrochemical double-layer capacitors (EDLCs) tersusun atas dua elektroda berbasis karbon, elektrolit, dan pemisah. **Gambar 2.14** menunjukkan skema EDLCs. Sebagaimana kapasitor konvensional, EDLCs menyimpan muatan secara elektrostatik (non-Faradaic) dan tidak ada transfer muatan antara elektroda dan elektrolit.

EDLCs memanfaatkan muatan elektrokimia *double-layer* untuk menyimpan energi. Bila tegangan diterapkan, muatan terakumulasi pada permukaan elektroda. Ion-ion dalam larutan elektrolit mengalir melalui separator ke dalam pori-pori elektroda muatan pada elektroda yang berlawanan muatan. Namun, elektroda direkayasa untuk mencegah rekombinasi ion. Sehingga, muatan double layer dihasilkan di setiap elektroda elektroda. Di sekitar elektroda ion-ion tersebut akan mengalami penyusunan ulang akibat tertarik oleh muatan yang berbeda pada sisi solid elektroda. Oleh karena itu terbentuklah lapisan ganda yang terdiri atas dua lapis muatan paralel ion-ion pada interface elektroda elektrolit dan ion-ion dengan muatan berlawanan pada sisi elektroda solid. **Gambar 2.14** menunjukkan contoh pembentukan lapisan ganda pada permukaan elektroda. *Double-layer* tersebut, tercipta seiring dengan peningkatan luas permukaan dan penurunan jarak antara elektroda, hal memungkinkan EDLCs untuk



Gambar 2.14 Model Pembentukan Lapisan Elektrokimia Ganda (Kurzweil, et al. 2009).

Pemberian tegangan pada elektroda yang terendam dalam elektrolit juga menimbulkan mekanisme absorpsi dan desorpsi ion pada kedua layer elektroda karbon, yang berperan dalam pengisian dan pengosongan EDLC. Saat tegangan diberikan pada kedua elektroda yang berhadapan maka ion akan tertarik ke permukaan kedua elektroda dan terjadilah proses pengisian atau charging. Sebaliknya, ion akan bergerak menjauh saat EDLC digunakan atau discharging (Murata Manufacturing Co Ltd, 2013).

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, mekanisme kerja EDLC merupakan proses non-Faradaik yang tidak melibatkan transfer muatan antara elektroda dan elektrolit, sehingga tidak terjadiperubahan komposisi kimia. Untuk alasan inilah penyimpanan muatan EDLC memiliki tingkat reversibel dan stabilitas siklus yang tinggi. EDLC biasanya mampu beroperasi dengan karakteristik kinerja yang stabil untuk siklus charge-discharge tinggi mencapai 106 cycles. Sebaliknya baterai

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



elektrokimia hanya mampu bekerja dengan siklus mencapai 103 (Halper, et al., 2006).

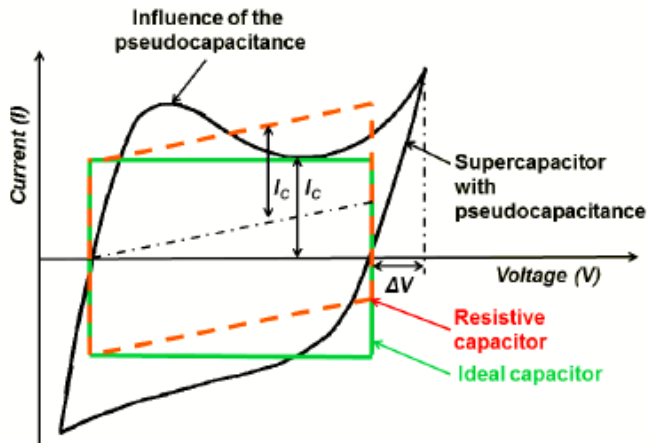
Kinerja EDLC sangat bergantung pada jenis material elektroda (karbon) dan larutan elektrolitnya. EDLC menggunakan elektroda berbahan karbon karena mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi kira-kira 10^3 hingga $2 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Sedangkan larutan elektrolit berperan sebagai pensuplai ion melalui proses disosiasi. Disosiasi sendiri merupakan peristiwa terurainya suatu zat menjadi beberapa zat yang lebih sederhana. Pada EDLC misalnya, sebuah larutan elektrolit AB terdisosiasi menjadi komponennya A^- dan B^+ . Hal tersebut dinamakan disosiasi elektrolit atau ionisasi dan reaksi ini juga merupakan reaksi reversibel atau berjalan bolak-balik karena ion-ion A^- dan B^+ juga bisa kembali membentuk elektrolit AB seperti yang terlihat pada persamaan 2.4. Melalui proses seperti inilah ion-ion bermuatan listrik dapat dimanfaatkan pada sistem kerja EDLC.



Karbon aktif digunakan sebagai elektroda, karena biaya rendah, luas permukaan yang tinggi, ketersediaan, dan teknologi produksi mudah. Karbon aktif yang digunakan dalam bentuk padatan sedangkan larutan elektrolitnya dalam bentuk cair. Ketika bahan-bahan ini melakukan kontak antara satu dengan yang lainnya, maka kutub positif dan negatif.

2.2.3 Karakterisasi Superkapasitor

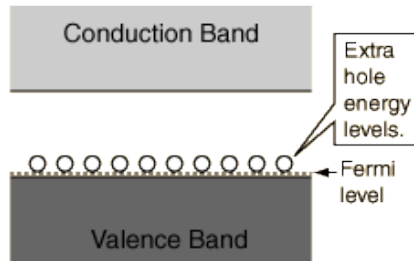
Dalam Karakterisasi dari Superkapasitor umumnya digunakan *cyclic voltammogram* (CV). **Gambar 2.15** menunjukkan berbagai tipe kurva CV dari berbagai jenis superkapasitor. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa superkapasitor mempunyai beberapa tipe. yang pertama adalah superkapasitor ideal (warna hijau). Superkapasitor ideal menunjukkan pola charging discharging yang sama.



Gambar 2.15 Kurva Cyclic Voltammogram pada superkapasitor (Stoller. 2009)

Yang kedua adalah jenis kapasitor resistif (warna merah). Kapasitor jenis ini ditandai oleh bentuk kurva CV yang rectangular, namun miring keatas, yang menandakan adanya peningkatan *current density* seiring dengan pertambahan nilai voltase, yang terakhir adalah jenis *pseudocapacitor* (warna hitam). Ciri khas dari jenis kapasitor ini adalah adanya hump (gundukan), yang menandakan terjadinya reaksi, baik oksidasi maupun reduksi. Pseudocapacitor biasanya mempunyai kapasitansi yang lebih tinggi, karena adanya efek reaksi redoks yang terjadi. Superkapasitor EDLC sangat tergantung pada luas permukaan aktif dari material elektroda.

Menurut Marconcini (2012) peningkatan konduktifitas pada B-rGO dikarenakan adanya penambahan *impurities* hole pada *band gap* rGO sehingga membuat elektron lebih mudah berpindah dan menyebrangi *band gap* dari *valance band* ke *conductivity band*, hal ini juga akan membuat *energy Fermi* lebih kecil karena pengaruh penambahan hole yang memperlebar luas *valance band*. Hal ini ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.16**



Gambar 2.16 Band Gap pada Semi-Konduktor Type-P karena Pengaruh Penambahan Hole (Marconcini. 2012)

2.4 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dan nilai kapasitansi dari superkapasitor *graphene* dengan beberapa jenis metode yang digunakan dalam pembuatan *graphene* dan aplikasinya dalam superkapasitor ditunjukkan pada **Tabel 2.2**

Pada penelitian, Nurdiansah dkk (2014) melakukan sintesis *graphene* dengan metode Hummer yang diikuti dengan proses reduksi oleh serbuk Zn dan proses hidrotermal. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu ultrasonikasi dan temperatur hidrotermal terhadap nilai kapasitansi elektroda EDLC. Variasi waktu ultrasonikasi yang digunakan adalah 90 menit, 120 menit, dan 150 menit, sementara temperatur hidrotermalnya 160° C, 180° C, dan 200° C. Dari uji CV didapatkan nilai kapasitansi tertinggi pada variasi temperatur 160° C dan waktu ultrasonikasi 1,5 jam dengan nilai kapasitansi 491,36 F/g. Dalam penelitian Junaidi dkk (2014), dengan perlakuan lama holding hidrotermal dan lamanya ultrasonic di dapatkan hasil terbaik bahwa ultrasonikasi yang semakin lama akan menipiskan lapisan dari *graphene*. Sebaliknya dengan semakin lama waktu holding hidrotermal *graphene* akan memiliki lapisan yang berlapis.

Dalam penelitian Da-Young Yeom, dkk (2015), memiliki hasil yang sangat baik dengan proses annealing. Semakin tinggi temperatur annealing akan semakin baik hasil dari *graphene*.



karena struktur yang tidak lagi amorf. Semakin tinggi temperatur annealing akan mempercepat proses kristalisasi saat reduksi grafit oksida. Dalam proses sintesisnya peneliti melakukan proses annealing seperti gambar dalam persiapan rGO. GO dicairkan dalam air dan di campur dengan B_2O_3 dengan ultrasonic selama 1 jam. Lalu larutan di keringkan dengan freezer dryer. setelah itu di thermal annealing dengan temp 300,500,700,1000 °C di N_2 Atmosphere selama 1 jam. Hasil yang didapatkan di cuci dengan air sebanyak tiga kali untuk menetralkan larutan dari boron oxide. Dari hasil ini pada temperatur 1000°C didapat nilai kapasitansi spesifik sebesar 448 F/g. (Yeom, dkk. 2015).

Tabel 2.2 Perbandingan nilai kapasitansi dari superkapasitor
Graphene

Material	Perlakuan	Kapasitansi Spesifik	Peneliti
<i>Graphene</i>	Deposit pada <i>Nickel Foam</i>	125,87	Hanung dkk (2015)
<i>Graphene</i>	Ultrasonik dan Hidrotermal	190.01	Adhtiawan, dkk (2015)
<i>Graphene</i>	Massa Zink	90.623	Suwandana, dkk (2015)
<i>Graphene</i>	Ultrasonikasi dan hidrotermal	491.36	Nurdiansah H, dkk (2014)
<i>Boron Doped Graphene</i>	<i>Annealing with B_2O_3</i>	448	Da-Young Yeom, dkk (2015)
<i>Boron Doped Graphene</i>	<i>Pyrolysis with H_3BO_3</i>	172.5	L. Niu, dkk (2013)
<i>Nitrogen Doped Graphene</i>	<i>Chemical Process with NH_4OH</i>	208.47	Safitri, Diah Ayu (2017)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa bahan penelitian,yakni:

1. Serbuk Grafit ukuran 150 μm (Purity 99%)
2. Aquades/Air Suling (H_2O)
3. Asam Sulfat (H_2SO_4)
4. Es Batu (H_2O Solid)
5. Natrium Nitrat (NaNO_3)
6. Potassium Permanganat (KMnO_4)
7. Hidrogen Peroksida (H_2O_2)
8. Asam Klorida (HCL)
9. Barium Klorida (BaCl_2)
10. Asam Boric (H_3BO_3)
11. Natrium Sulfat (Na_2SO_4)
12. Nickel Foam
13. Carbon Tape
14. Kertas Saring

3.2 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa alat yang digunakan yakni :

1. Neraca Analitik,
Alat ini digunakan untuk mengukur massa dari bahan padatan.
2. Pipet dan Mikro Pipet,
Alat Ini digunakan untuk mengambil larutan kimia.
3. Spatula,
Alat ini digunakan dalam pengambilan bahan atau sampel padat.
4. Hot Plate dengan Magnetik Stirrer ,
Alat ini digunakan untuk mencampurkan serta mengaduk agar homogen serta pemberian temperatur pada larutan yang diaduk.



5. Furnace (*Thermolyne*),
Alat ini digunakan untuk pemanasan dalam proses *drying* dan *hydrothermal*
6. Autoclave,
Alat ini digunakan dalam proses *hydrothermal* sebagai wadah larutan dalam menghomogenkan kontak panas dan udara vacuum
7. Erlenmayer
Alat ini digunakan sebagai media tempat larutan yang memerlukan perlakuan mengadukan
8. Ice Bath,
Alat ini digunakan untuk tempat peletakan es saat membuat grafit oksida yang bersifat penjaga temperatur
9. Tabung Centrifuge,
Alat ini digunakan untuk menampung larutan yang akan dimasukkan ke dalam alat centrifuge.
10. Centrifuge
Digunakan untuk mendispersi partikel endapan dalam larutan dan memisahkannya
11. Ultrasonik Cleaner,
Alat ini digunakan untuk homogenisasi dan pengelupasan (*exfoliated*) lembaran grafit oksida menjadi *graphene oxide*
12. Gelas Beaker,
Alat ini digunakan sebagai tempat aktifitas kimia.
13. Gelas Ukur
Alat ini digunakan sebagai alat ukur banyaknya larutan.
14. Wadah Ceramic *Crucible*
Alat ini digunakan sebagai wadah larutan *graphene* saat proses *drying*
15. Wadah Spesimen
Alat ini digunakan sebagai wadah untuk sampel yang telah selesai di sintesis
16. Instrumen Karakterisasi,
Untuk karakterisasi digunakan beberapa alat, yakni :



- a. X-Ray Diffraction (XRD), Alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui senyawa yang terkandung serta strukturnya dari hasil penelitian
- b. Scanning Electron Microscope (SEM-EDX), Alat karakterisasi ini digunakan untuk menganalisa morfologi dan juga ukuran partikel dari hasil penelitian
- c. Fourier Transform Infrared (FTI-R), Alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui nilai gugus fungsi hasil penelitian
- d. Four Point Probe, Alat Karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui nilai konduktifitas hasil penelitian
- e. Cyclic Voltammetry (CV), Alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari hasil penelitian

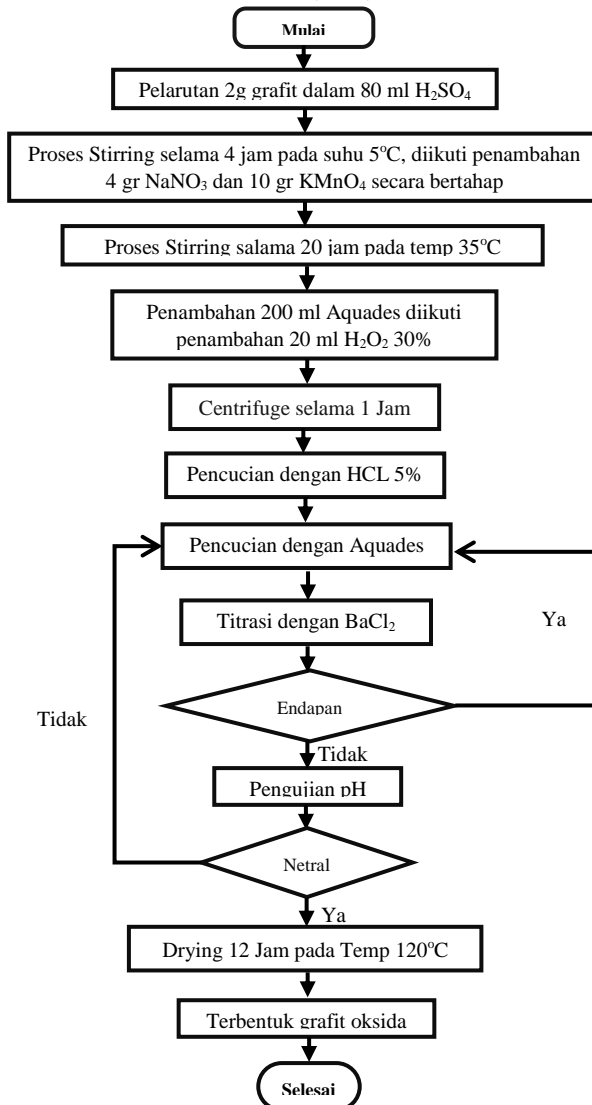


3.3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat serangkaian proses untuk menghasilkan *boron doped graphene* dari serbuk grafit. Proses pertama merupakan proses pengubahan grafit menjadi grafit oksida dengan proses modifikasi Hummer. Penambahan asam boric H_3BO_3 dilakukan saat sintesis graphene sebagai pendoping atom boron. Selanjutnya serbuk *graphene* dan *boron-graphene* di depositkan ke nickel foam dan di bentuk elektroda.



3.3.1 Sintesis Grafit Oksida(GO)



Gambar 3.1 Flowchart Proses Sintesis Grafit Oksida



Grafrit oksida merupakan bahan utama pembuat *graphene* yang dibuat dari oksida grafit dalam larutan asam. Grafit oksida disintesis dengan menggunakan modifikasi metode Hummer. Proses sintesis dengan metode ini menggunakan serbuk grafit, KMnO_4 , NaNO_3 , dan H_2SO_4 sebagai bahan dasar dan agen pengoksidasi. Proses sintesis grafit oksida ditunjukkan pada **Gambar 3.1**. Sintesis Grafit Oksida dimulai dengan *stirring* 2 gram serbuk grafit dengan ukuran sekitar $150\ \mu\text{m}$ dengan 80 ml H_2SO_4 98% selama 4 jam dengan kecepatan tinggi di dalam *ice bath* dengan temperatur rata-rata 5°C . Setelah proses *stirring* berjalan selama 2 jam 10 gram KMnO_4 dan 4 gram NaNO_3 mulai ditambahkan sedikit demi sedikit dan bergantian selama satu jam, larutan akan berubah warna menjadi hijau keunguan selama proses penambahan zat tersebut. Lalu di biarkan teraduk selama satu jam setelah penambahan agar larutan menjadi homogen.

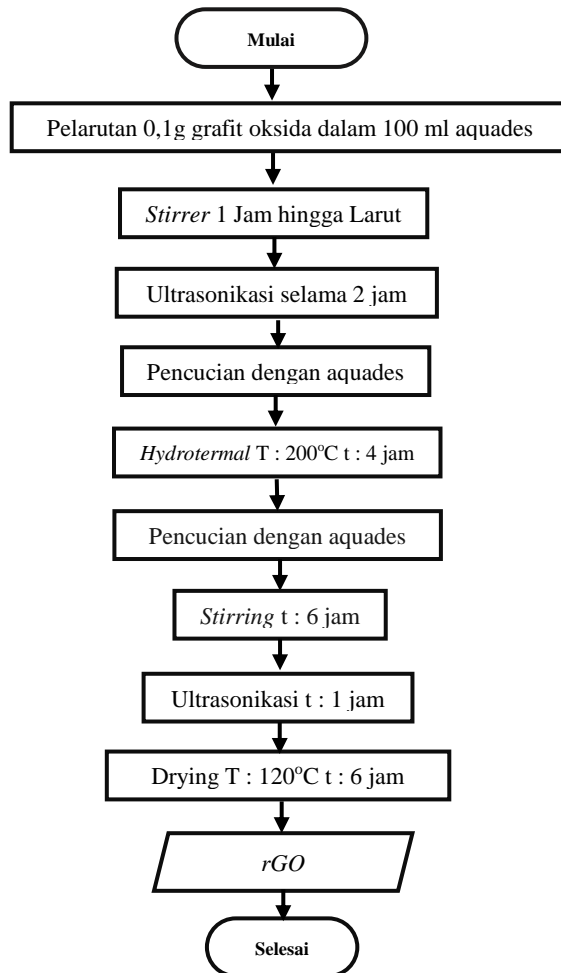
Setelah proses *Ice Bath* selesai dilakukan, dilanjutkan dengan proses *stirring* pada temperatur 35°C selama 20 jam dengan proses ini, larutan yang awalnya berwarna hijau keunguan akan perlahan berubah menjadi cokelat muda dan lebih kental. 200 ml aquades ditambahkan secara bertahap kedalam larutan tersebut agar mengurangi kekentalan, dalam tahap penambahan aquades larutan akan melepas kalor. Penambahan 200 ml aquades tersebut larutan akan berubah menjadi coklat tua. Setelah larutan menjadi homogen ditambahkan 20 ml hidrogen peroksida (H_2O_2) 30% secara bertahap sampai larutan menjadi homogen.

Larutan kemudian dibiarkan dalam keadaan terstirring selama 30 menit. Dilanjutkan dengan *centrifuge* lalu diambil endapannya. Selanjutnya dilakukan pencucian dengan HCL 5% (0,1 M) untuk menghilangkan ion logam-logam yang tersisa. Proses pencucian selanjutnya menggunakan aquades secara berkala untuk menetralkan *pH*. Untuk mengetahui keberadaan ion sulfat dilakukan titrasi BaCl_2 1 M, Jika muncul endapan putih bersih maka di indikasikan bahwa masih terdapat ion sulfat di dalamnya. Larutan yang sudah netral dan tanpa pengotor (endapan) lain dilakukan *centrifuge* lagi untuk memisahkan grafit yang belum



teroksidasi dengan grafit oksida. Lalu di *drying* pada temperatur 120 °C selama 12 jam untuk mendapatkan grafit oksida dalam wadah ceramic crucible.

3.3.2 Sintesis *Reduced Graphene Oxide (rGO)*



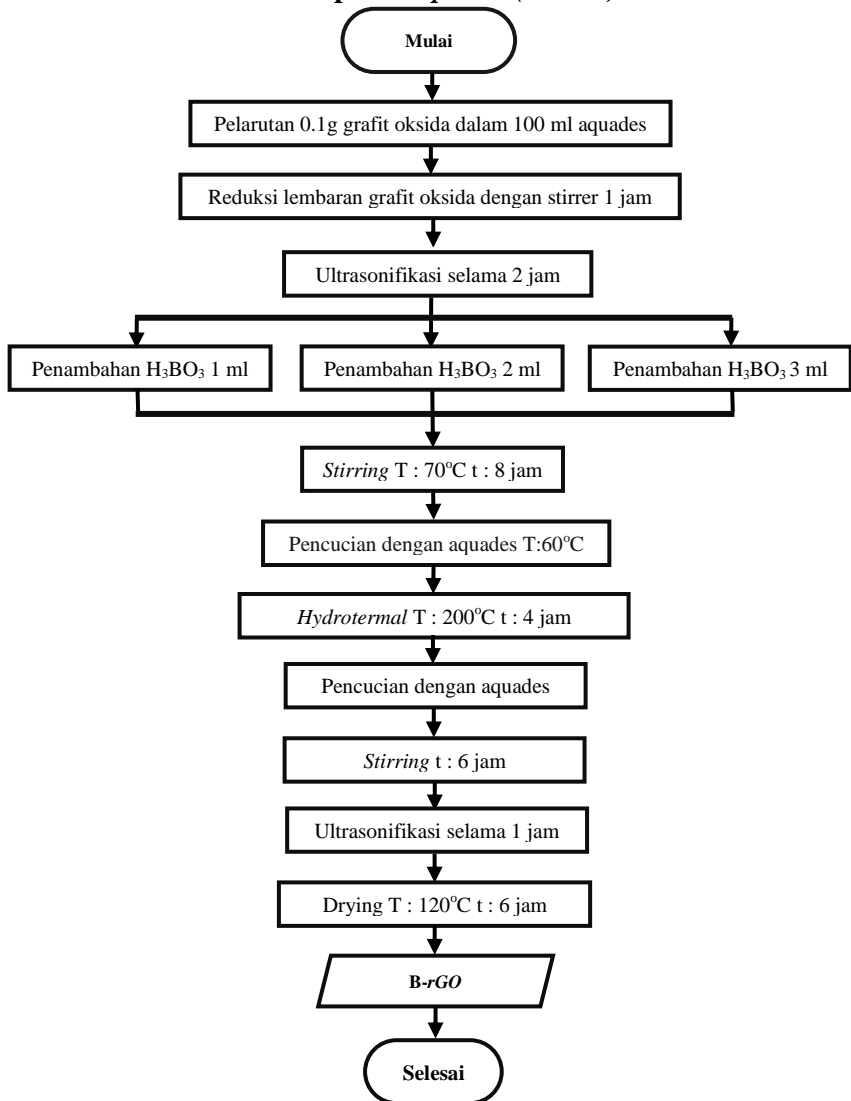
Gambar 3.2 Flowchart Proses Sintesis *rGO*



Reduced graphene oxide disintesis dengan cara meng-*exfoliated* grafit oksida menjadi *graphene oxide*, kemudian dilanjutkan dengan mereduksi *graphene oxide* menjadi *Reduced graphene oxide* (rGO). Grafit oksida direduksi untuk mendapatkan *graphene oxide* dengan cara stiring selama 1 jam yang sebelumnya 0,1 gram grafit oksida telah di larutkan dalam 100 ml aquades. Setelah itu grafit oksida yang sudah terlarut dalam aquades dilakukan proses ultrasonikasi yang berfungsi untuk mengelupas (*exfoliate*) grafit oksida menjadi lembaran-lembaran kecil *graphene oxide*. Proses ultrasonikasi dilakukan menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi lebih dari 20.000 Hz selama 120 menit. Larutan lalu di centrifuge hingga mengendap, endapan di *hydrothermal* selama 4 jam pada temperatur 200°C. Proses sintesis ini menghasilkan rGO yang basah. Dilakukan pencucian dengan menggunakan aquades hingga pH netral proses lalu dilakukan drying pada temperatur 120°C selama 6 jam agar mendapatkan rGO yang kering. Proses ini ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



3.3.3 Sintesis Boron doped *Graphene* (*B-rGO*)



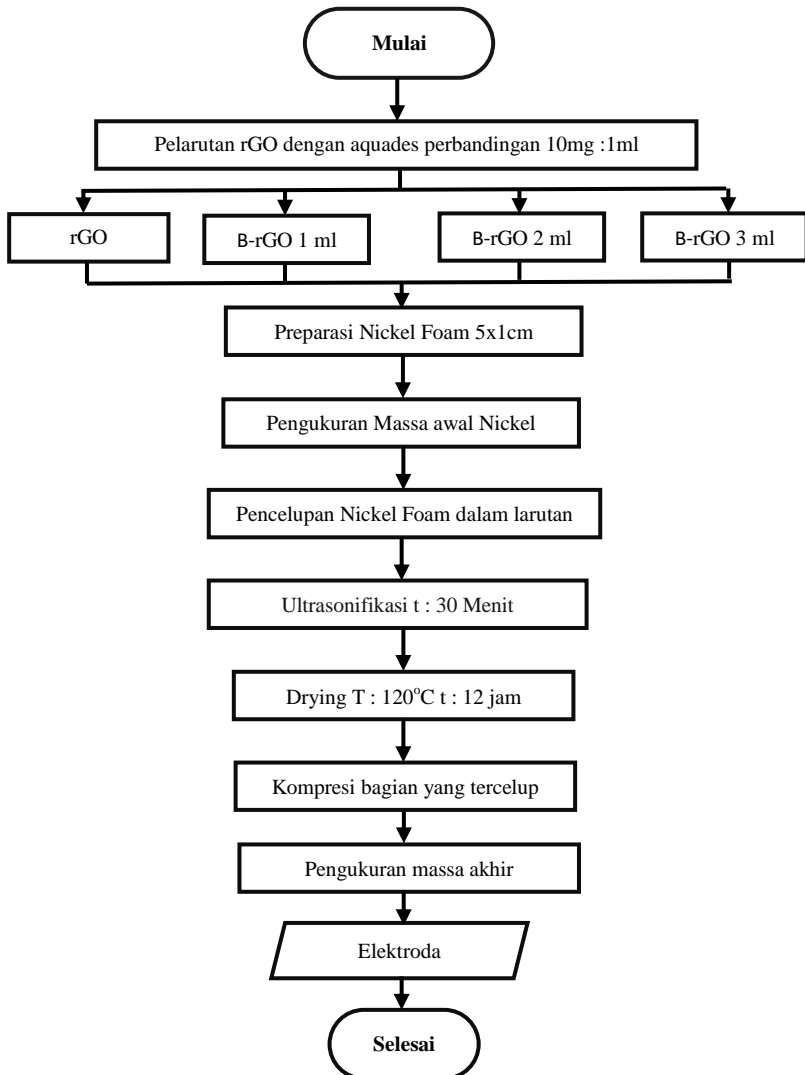
Gambar 3.3 Flowchart Proses Sintesis Boron *Graphene*



Dalam pembuatan boron doped *reduced graphene oxide* (*B-rGO*) ditunjukkan pada **gambar 3.3**, dimana dilakukan dengan penambahan larutan *boric acid* (H_3BO_3) 1 M dengan variasi 1 ml, 2 ml dan 3 ml setelah proses ultrasonikasi selama 1 jam. Selanjutnya, dilakukan proses stirring kecepatan sedang dengan temperatur 70°C agar proses reaksi berjalan sempurna dan cepat. Larutan dicuci dengan aquades temperatur hangat agar *boric acid* sisa terbuang. Kemudian larutan direduksi dengan menggunakan metode *hydrothermal*. *Graphene oxide* dimasukkan *autoclave* untuk dilakukan proses hidrotermal di dalam *muffle furnace* dengan temperatur 200°C selama 4 jam, proses ini dilakukan jika pH larutan sudah netral. Didapatkan B-rGO 1 dengan penambahan 1ml, B-rGO 2 dengan penambahan 2ml, dan B-rGO 3 dengan penambahan 3ml



3.3.4 Pembuatan Elektroda



Gambar 3.4 Flow Chart Proses Pembuatan Elektroda



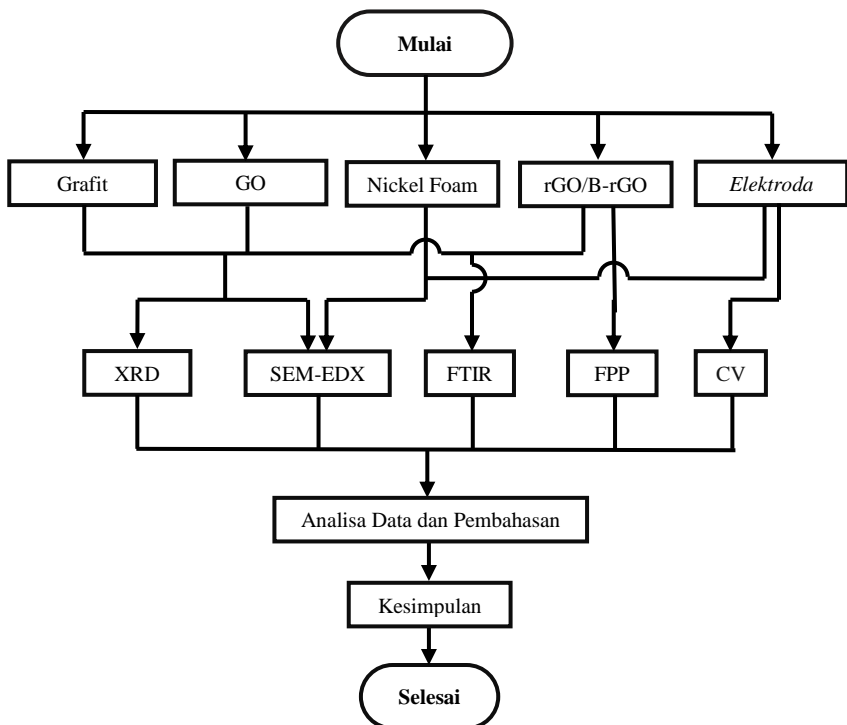
Dalam pembuatan elektroda, seperti yang ditunukan **Gambar 3.4** dimana dibuat larutan dengan perbandingan *reduced graphene oxide* (rGO) 1 mg dengan 1 ml aquades. Kemudian di stirring selama 1 jam agar larutan homogen. Larutan ini akan digunakan untuk mendepositkan rGO ke *nickel foam* sebagai elektroda dengan cara mencelupkan sebagian *nickel foam* ke larutan lalu di ultrasonikasi selama 30 menit.

Nickel foam di preparasi dengan memotong hingga ukuran 5x1 cm. *Nickel foam* berfungsi sebagai elektroda. Penimbangan massa awal *nickel foam* dilakukan untuk mengetahui berapa banyak massa rGO yang nanti terdepositasi. *Nickel foam* yang telah ditimbang dicelupkan kedalam larutan rGO. Ultrasonikasi kemudian dilakukan selama 30 menit untuk mendepositkan rGO kedalam pori-pori *nickel foam*. Setelah itu dilakukan proses *drying* dengan cara memasukan *nickel foam* ke dalam *muffle furnace*, *drying* selama 12 jam dengan temperatur 120 °C. Elektroda yang sudah siap dilakukan pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) dengan larutan elektrolit Na₂SO₄ 1M.



3.4 Pengujian

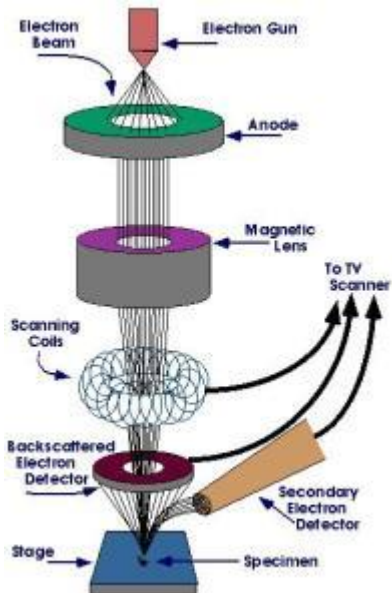
Dalam penelitian ini, digunakan data-data yang berasal dari beberapa pengujian sampel yang berguna untuk pembuktian teori yang ada serta hipotesa-hipotesa terhadap aplikasi pengembangan superkapasitor, khususnya superkapasitor berbahan *graphene* dan *Boron Doped Graphene*. Adapula pengujian yang dilakukan dalam mengumpulkan data-data seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.5**



Gambar 3.5 Flowchart Pengujian Penelitian

3.4.1 Scanning Electron Microscopy (SEM) dan EDS

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop yang memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa objek dalam skala yang sangat kecil. Pengamatan ini memberikan informasi mengenai topografi (jenis permukaan objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel), komposisi (unsur dan senyawa beserta jumlah relatif masing-masing) menggunakan EDS (*Energy Dispersive X-Ray analysis*). SEM digunakan untuk menguji topografi dan morfologi dari semua sample.



Gambar 3.6 Mekanisme Kerja Alat SEM

Prinsip kerja SEM ini ditunjukkan pada **Gambar 3.6** dimana berkas elektron yang dihasilkan oleh electron gun menyapu permukaan sampel. Pada saat elektron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan secondary electron (SE),



elektron ini masuk ke dalam detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang menghasilkan gambar pada layar monitor. Sinyal keluaran dari detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah elektron yang berinteraksi dengan sampel. Hasil yang ditampilkan dengan secondary electron ini adalah topografi permukaan sampel. Sedangkan untuk mengamati fasa-fasa, dilakukan dengan backscattered electron (BSE) dengan hasil gambar yang memiliki gradasi warna. Bahan dengan nomor atom yang besar, akan tampak lebih terang dibanding bahan dengan nomor atom yang lebih kecil.



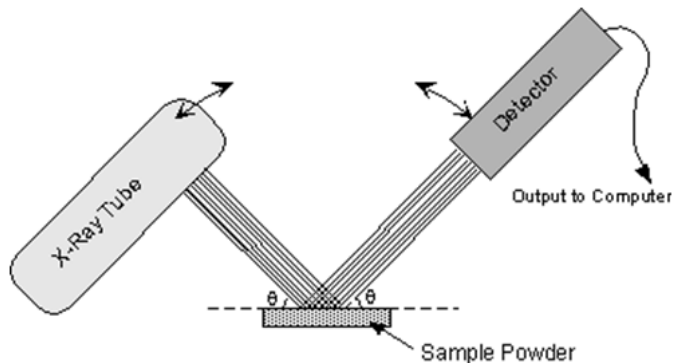
Gambar 3.7 *Scanning Electron Microscopy (SEM) Jeol JSM-7001F Inspect S50*

Pengujian EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), bertujuan untuk mengetahui apa saja jenis unsur penyusun material yang ada dalam sampel, dan sekaligus untuk mengetahui nilai % berat dan % atomik dari semua unsur penyusun tersebut. EDS digunakan untuk mengetahui kandungan jumlah atom boron

yang terdoping pada rGO dalam pengujian ini. Pengujian EDS dilakukan dengan menggunakan alat SEM, yang dilengkapi dengan software INCA yang ditunjukkan oleh **Gambar 3.7**

3.4.2 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf. Metode difraksi umumnya digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang belum diketahui yang terkandung dalam suatu padatan dengan cara membandingkan dengan data difraksi dengan database yang dikeluarkan oleh JCPDS (Joint Committee of Powder Diffraction Standard).



Gambar 3.8 Metode Difraksi X-Rays

Gambar 3.8 Menjelaskan Metode XRD dimana Tabung Sinar-X menembak pada sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan



untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi tertentu sehingga difraksi sinar-X memenuhi :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana,

n = orde difraksi (1,2,3,...)

λ = panjang sinar-X

d = jarak kisi

θ = sudut difraksi

Karakterisasi material menggunakan XRD menggunakan alat instrumen XRD PAN Alytcal yang ditunjukkan pada **Gambar 3.9**. Karakterisasi XRD menghasilkan beberapa data baik data kualitatif maupun data kuantitatif seperti pada **Tabel 3.1**



Gambar 3.8 Instrumen XRD PAN Alytcal



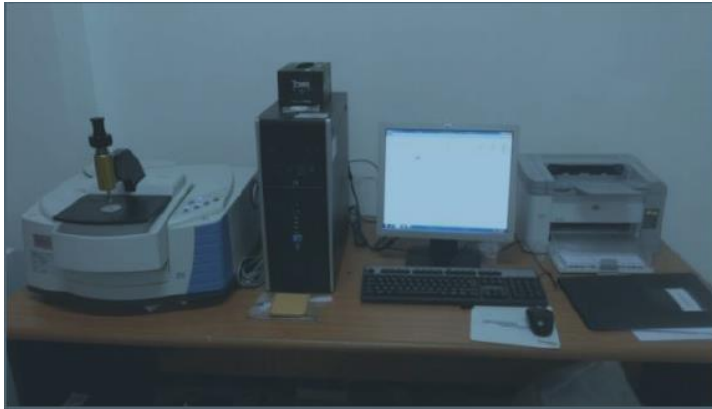
Tabel 3.1 Informasi hasil Pengujian XRD (Pratapa, 2004)

No	Karakter	Informasi dari Material
1	Posisi Puncak (2θ)	<ul style="list-style-type: none">• Fasa• Identifikasi Kristal• Struktur Kristal• Parameter kisi• Regangan seragam
2	Tinggi puncak (intensitas)	<ul style="list-style-type: none">• Identifikasi• Komposisi• Hamburan tak koheren• Extinction• Preferred-orientation
3	Lebar dan Bentuk Puncak	<ul style="list-style-type: none">• Ukuran kristal (bukan partikel atau grain)

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per meninya, dengan detektor dalam sudut 2θ per menit sehingga sumbu-X setara dengan sudut 2θ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik.

3.4.3 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Spektrofotometri Infra Red atau Infra Merah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75–1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000–10 cm^{-1} dengan menggunakan suatu alat yaitu Spektrofotometer Infra Merah. Metode ini banyak digunakan pada laboratorium analisis industri dan laboratorium riset karena dapat memberikan informasi yang berguna untuk analisis kualitatif dan kuantitatif, serta membantu penerapan rumus bangun suatu senyawa. Alat Uji FTIR terdapat pada **Gambar 3.9**



Gambar 3.9 Alat Uji FTIR

Pada prinsipnya, bila radiasi infra merah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi sehingga terjadi transisi antara tingkat vibrasi dasar (ground state) dan tingkat vibrasi tereksitasi (excited state). Pengabsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh Spektrofotometer Infra Merah, yang memplot jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui suatu cuplikan sebagai fungsi frekuensi atau panjang gelombang radiasi. Plot tersebut disebut spektrum infra merah, yang akan memberikan informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul. Vibrasi molekul hanya akan terjadi bila suatu molekul terdiri dari dua atom atau lebih. Untuk dapat menyerap radiasi infra merah (aktif inframerah), vibrasi molekul harus menghasilkan perubahan momen dwikutub.

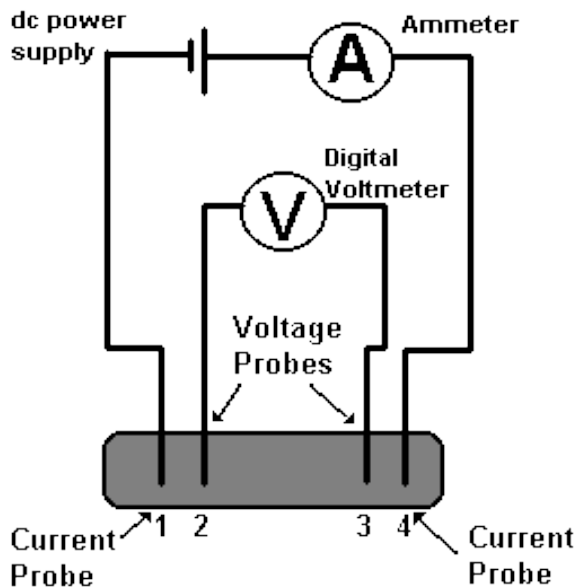
3.4.4 Four Point Probe (FPP)

Pengujian *Four-Point Probe* (FPP) adalah salah satu jenis alat yang biasa digunakan untuk mengukur nilai resistansi suatu lapisan bahan elektronika yaitu bahan semikonduktor dalam pembuatan piranti elektronika. Seperti namanya, alat ukur ini didasarkan pada 4 buah probe dengan 2 probe berfungsi untuk



mengalirkan arus listrik dan 2 probe yang lain untuk mengukur tegangan listrik sewaktu probe-probe tersebut dikenakan pada bahan (sampel).

Konfigurasi utama alat ukur FPP dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.10** dimana keempat probe yang didesain dapat digerakkan naik dan turun. Gerakan turun dilakukan untuk meletakkan kesemua probe agar bersentuhan dengan permukaan sampel, sedangkan gerakan naik untuk melepaskan sentuhan probe dengan permukaan sampel. Mekanik gerakan probe (naik dan turun) tersebut biasanya ditopang oleh pegas (spring) untuk menghindari kerusakan permukaan sampel akibat tekanan yang terlalu kuat dari probe. Posisi ujung keempat-empat probe harus segaris, yaitu sewaktu diturunkan semua probe harus menyentuh permukaan sampel.



Gambar 3.10 Skematik Four Point Probe



Prinsip kerjanya, Sebelum arus dialirkan (diberikan) melalui probe, keempat probe diturunkan sehingga menyentuh permukaan sampel. Setelah itu arus I dialirkan melalui probe 1 dan 4. Dengan cara seperti ini arus akan dialirkan / didistribusikan secara laminar melalui sampel dari probe yang satu menuju probe yang satunya. Pada daerah dimana probe 2 dan 3 bersentuhan dengan sampel tegangan 'drop' diukur dengan voltmeter. Dari variasi perubahan arus yang diberikan, akan diperoleh perubahan tegangan yang diukur. Aliran arus pada probe 2 dan 3 sangat kecil dan dapat diabaikan sebab tegangan diukur dengan menggunakan voltmeter rintangan tinggi. Dari perubahan ini akan diperoleh nilai kerintangan (resistivity)

$$R = \frac{\rho}{2\pi t} \ln(2) \dots\dots\dots(3.2)$$

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \times \frac{V}{I} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

- ρ : resistivitas (Ωcm)
 t : tebal material (cm)
 V : tegangan output (Volt)
 I : arus listrik (Ampere)

Dari nilai resistivitas, dapat diketahui besar konduktivitas sampel dengan persamaan :

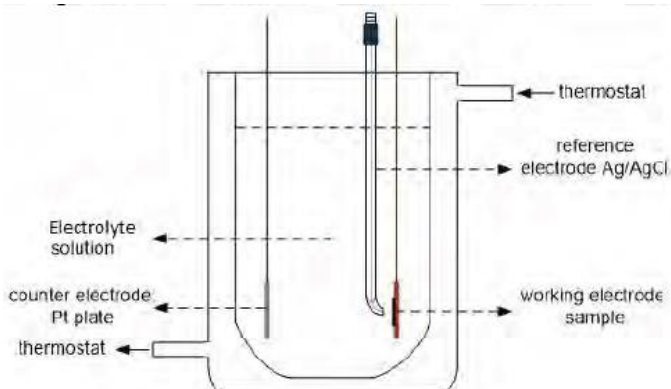
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana :

- : konduktifitas (S/cm)

3.4.5 Cyclic Voltammetry (CV)

CV test adalah digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari sample elektroda dengan variasitertentu. Elektroda untuk pengujian ini dengan mendepositkan material yang diinginkan ke dalam *nickel foam*. Larutan yang digunakan untuk pengujian elektroda adalah Na_2SO_4 1M. *Potential window* yang digunakan dalam pengujian CV ini yaitu 0-0,8 V. Hal ini dilakukan karena menyesuaikan rentang potensial kerja kapasitor. Instrumen yang digunakan adalah AUTOLAB PG STAT 302 METHROM (Netherland), dengan *Counter Electrode* adalah platina.



Gambar 3.11 Sel Standar 3 Elektroda

Prinsip kerja *cyclic voltammetry* adalah dengan mengalirkan sejumlah beda potensial sehingga akan terukur besar sesuai dengan polarografi dari sampel elektroda yang digunakan dengan susunan seperti **Gambar 3.11**. Dalam CV, nilai kapasitansi juga dipengaruhi oleh reaksi redoks. Reaksi ini terjadi karena sampel bereaksi dengan elektrolit yang kuat sehingga nilai kapasitansi yang terbaca, tidak murni milik sampel. Untuk itu perlu menggunakan sampel dan elektrolit yang tepat jika ingin menghindari redoks pada sampel. Hasil yang diperoleh pada



pengujian ini yaitu grafik *cyclic voltammetry*. Untuk menghitung besarnya kapasitansi spesifik digunakan persamaan di bawah ini. Di samping itu, hasil dari CV juga menggambarkan sifat kapasitif elektrokimia dari elektroda kerjanya.

$$C = \frac{\int i \, dV}{2 w \gamma \Delta E} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dari hasil pengujian CV juga dapat diketahui nilai Densitas Energi (E) dan Densitas Power (P) dengan menggunakan rumus di bawah ini.

$$E = 0,5 \times C \times (\Delta V)^2 \dots\dots\dots (3.7)$$

$$P = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dimana :

- E : Densitas Energi (Wh/kg)
- C : Kapasitansi (Farad/gr)
- ΔV : Potential Window (Volt)
- P : Densitas Power (W/kg)
- t : Waktu discharge (sekon)
- I : Arus (Ampere)
- w : Massa Elektroda *Grafene* (gr)
- γ : Scan Rate (V/s)



(halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB IV

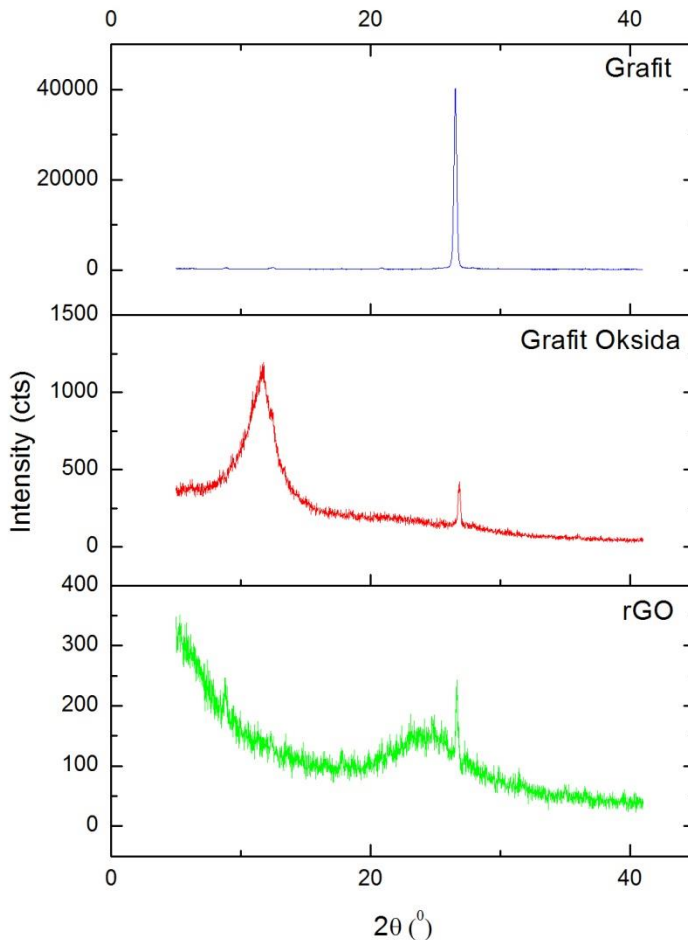
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan pada sampel grafit, grafit oksida, *Reduced Graphene Oxide* (rGO) dan *Boron Doped Reduce Graphene Oxide* (B-rGO). Alat yang digunakan dalam pengujian yaitu XRD Phillip Analitical dengan parameter sudut $2\theta = 5^\circ - 90^\circ$ dengan panjang gelombang Cu-K α 1.54060 Å. Dalam pengujian ini ditujukan untuk mengetahui perbedaan posisi puncak (*peak*) dari sampel dimana merupakan indikasi perubahan struktur dari material grafit hingga menjadi rGO dan perbedaan rGO dengan B-rGO.

Perbandingan hasil uji XRD pada sampel grafit, grafit oksida, dan rGO ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Dari **Gambar 4.1** terlihat bahwa sampel grafit memiliki peak tertinggi (002) pada $2\theta = 26.53^\circ$ dan $d_{\text{spacing}} = 3.58$ Å. Peak grafit yang dihasilkan memiliki bentuk yang tajam dan intensitas yang tinggi, hal ini menunjukkan bahwa grafit yang digunakan memiliki struktur yang kristalin dan kemurnian yang baik dan nilai intensitas XRD yang semakin tinggi menunjukkan kristalinitas yang semakin baik (Hye-Min Yoo, 2011). Grafit ini memiliki stuktur Kristal heksagonal (JCPDS 03-065-6212).

Setelah proses oksidasi pada grafit maka grafit berubah menjadi grafit oksida. Puncak dari grafit (002) akan sepenuhnya berubah menjadi puncak (001) pada $2\theta = 11.74^\circ$ dan $d_{\text{spacing}} = 7.53$ Å. Perubahan posisi puncak, nilai d_{spacing} dan intensitas dipengaruhi oleh gugus-gugus fungsional oksigen (-OH) yang diakibatkan oleh proses oksidasi dalam material grafit. Gugus-gugus oksigen membentuk lapisan atom hidrofilik yang menjadikan grafit oksida mudah larut dalam air. (Pei, 2015) Gugus-gugus fungsi ini juga akan mengakibatkan pelebaran struktur kristal pada grafit oksida sehingga memiliki d_{spacing} yang lebih lebar apabila dibandingkan dengan grafit murni dengan selisih hampir setengahnya.



Gambar 4.1 Pola pengujian XRD pada sampel Grafit, Grafit Oksida, dan rGO

Grafit oksida lalu direduksi sehingga didapatkan rGO yang memiliki puncak (002) pada $2\theta = 25.20^\circ$ dan $d_{\text{spacing}} = 3.53 \text{ \AA}$. Nilai peak dari grafit oksida dan rGO ini sudah sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang (2009), dimana tidak

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



terlihat lagi puncak grafit oksida (001) pada $2\theta = 11.74^\circ$ dan $d_{\text{spacing}} = 7.53 \text{ \AA}$. Menurunnya intensitas pada rGO terjadi karena jumlah *layer* rGO yang semakin berkurang dan terjadinya penurunan nilai d_{spacing} diakibatkan proses *chemical exfoliation* dan juga struktur kristal rGO yang cenderung memiliki struktur amorf.

Perhitungan jarak antar *layer* (d_{spacing}) dapat menggunakan Hukum Bragg pada **persamaan 4.1** yang bertujuan untuk menganalisa pengaruh sintesis dari grafit hingga menjadi rGO dan juga B-rGO. Khususnya jarak *layer* pada sampel

$$d_{002} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \dots\dots\dots 4.1$$

dimana : d_{002} = Jarak antar layar
 λ = Panjang Gelombang (1.54 \AA)
 θ = Sudut Difraksi ($^\circ$)

Hasil dari perhitungan jarak antar *layer* dibandingkan dengan seluruh sampel grafit, grafit oksida, dan rGO ditunjukkan dalam **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan nilai d_{spacing} dari sampel grafit, grafit oksida, dan rGO

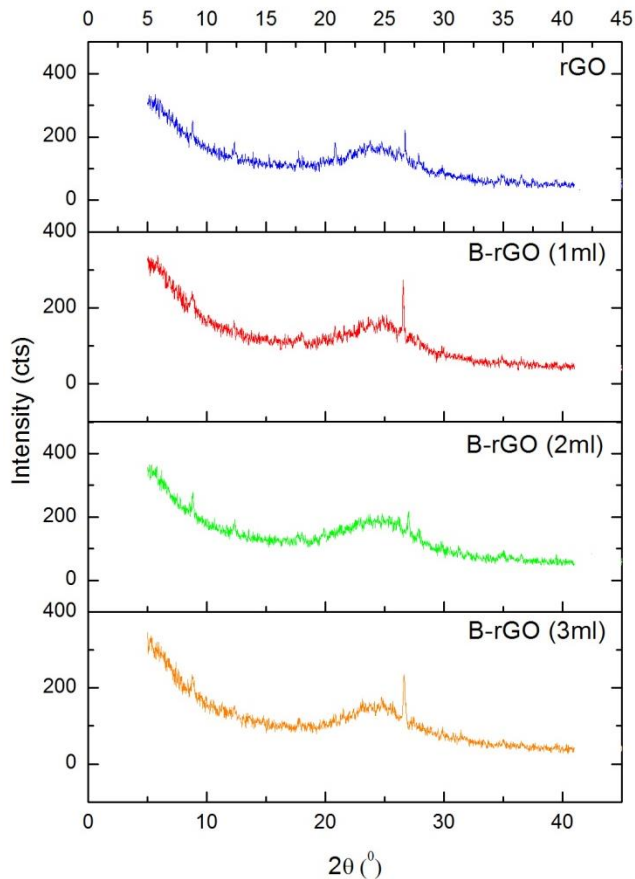
No	Sampel	Sudut Difraksi 2θ ($^\circ$)	d_{spacing} (\AA)
1	Grafit	26.53	3.36
2	Grafit Oksida	11.74	7.54
3	rGO	25.20	3.53

Dari data pada **Tabel 4.1** dapat disimpulkan bahwa selama proses sintesis rGO grafit akan mengalami pelebaran d_{spacing} lalu kembali lagi mendekati ke jarak awalnya. Hal ini sesuai dengan



penelitian Pei (2015), ini dapat terjadi karena proses reduksi menghilangkan gugus oksigen, lalu jarak antar layer dari *graphene* lebih besar dibandingkan grafit, hal ini mengindikasikan bahwa sedikit gugus fungsional yang tersisa.

Selanjutnya, pada **Gambar 4.2** menunjukkan perbandingan antara sampel rGO dengan B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 1M sebanyak 1 ml, 2 ml, dan 3 ml.



Gambar 4.2 Pola pengujian XRD sampel rGO dan B-rGO



Hasil XRD perbandingan antara sampel rGO dengan B-rGO hampir tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Tetapi jika diamati, sampel memiliki perbedaan pada d_{spacing} seperti yang ditunjukkan **table 4.2**

Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai d_{spacing} dari rGO dan B-rGO

No	Sampel	Sudut Difraksi 2θ ($^{\circ}$)	d_{spacing} (\AA)
1	rGO	25.20	3.53
2	B-rGO 1	25.06	3.55
3	B-rGO 2	24.72	3.60
4	B-rGO 3	24.54	3.63

Dari hasil ini menunjukkan bahwa bahwa pemberian doping Boron pada rGO berpengaruh pada struktur kristalnya. Hasil XRD menunjukkan bahwa peak sudut difraksi 2θ ($^{\circ}$) pada sampel bergeser kearah kiri sehingga menghasilkan d_{spacing} yang lebih besar. Untuk penambahan H_3BO_3 1 ml menunjukkan peak 25.06° dan d_{spacing} 3.55 \AA . Penambahan H_3BO_3 2 ml menunjukkan peak 24.72° dan d_{spacing} 3.60 \AA . Penambahan H_3BO_3 3 ml menunjukkan peak 24.54° dan d_{spacing} 3.63 \AA .

Dari **tabel 4.2**, dapat dilihat terdapat pergeseran puncak untuk masing-masing nilai doping. Pada keempat peak secara umum pergeseran terjadi ke derajat yang lebih rendah saat terjadi nilai doping. Berdasarkan persamaan Bragg d_{spacing} dari B-rGO menjadi lebih besar dengan ditambahkan doping atom boron. Menurut Yu (2015) d_{spacing} akan bertambah besar dikarenakan keberadaan atom-atom pendoping lain pada rGO memiliki jari-jari atom yang lebih besar dari karbon sehingga atom boron telah berhasil didoping pada rGO. Hal ini sesuai dengan teori dimana atom boron memiliki ukuran atom yang lebih besar dari pada atom



karbon sehingga akan menjadikan doping bersifat subsitusi dan menghasilkan pelebaran d_{spacing} pada rGO.

Pada grafik XRD rGO dan B-rGO juga terlihat adanya perubahan FWHM (broadening) akibat dari penambahan nilai doping. Peak broadening ini mengindikasikan bahwa adanya perubahan *crystallite size*. Hal ini dapat didapatkan dengan persamaan Scherrer pada **Persamaan 4.2.** (Culity, 1956)

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots 4.2$$

Dimana : D = Ukuran Kristal
 λ = Panjang gelombang Cu-K α (1.54060 Å)
B = FWHM (rad)
K = konstanta Scherrer dengan nilai 0.9

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan *Crystallite Size* rGO dan B-rGO

No	Sampel	FWHM (rad)	D(nm)
1	rGO	0.04393	32.30
2	B-rGO 1	0.04558	31.14
3	B-rGO 2	0.04619	30.75
4	B-rGO 3	0.04868	29.18

Tabel 4.3 menunjukkan hasil perhitungan *crystallite size* dari rGO dan B-rGO sampel. Pada sampel rGO memiliki ukuran 32.30 nm, untuk penambahan H₃BO₃ 1 ml memiliki ukuran 31.14 nm. Setelah penambahan H₃BO₃ 2 ml memiliki ukuran 30.75 nm dan setelah penambahan H₃BO₃ 3 ml memiliki ukuran 29.18 nm. Dari perbandingan ini didapatkan nilai *crystallite size* terbesar dimiliki oleh rGO dan nilai terkecil pada B-rGO dengan penambahan H₃BO₃ 1M 3ml.



Menurut Geng (2011) pendopingan akan menghasilkan *defect* pada kisi kristal rGO yang dimana menghasilkan pengaruh yang berbeda-beda tergantung dari atom yang menjadikan *defect*-nya dan juga tindak *defect*-nya. Pada penelitian Pancarkala (2009) pendopingan boron pada rGO akan menghasilkan *defect* sehingga mengecilkan *Crystallite Size* pada rGO. Defect ini akan mengakibatkan ketidakseragaman panjang ikatan pada rGO karena adanya atom-atom C yang hilang selama proses pendopingan dan kekosongan pada Kristal yang tidak seluruhnya tertutup oleh atom boron. Sedangkan pada proses sintesis rGO tanpa pendopingan akan menghasilkan *defect* yang lebih sedikit karena tidak ada pengaruh pemaksaan masuknya atom boron pada rGO.

4.2 Hasil Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR)

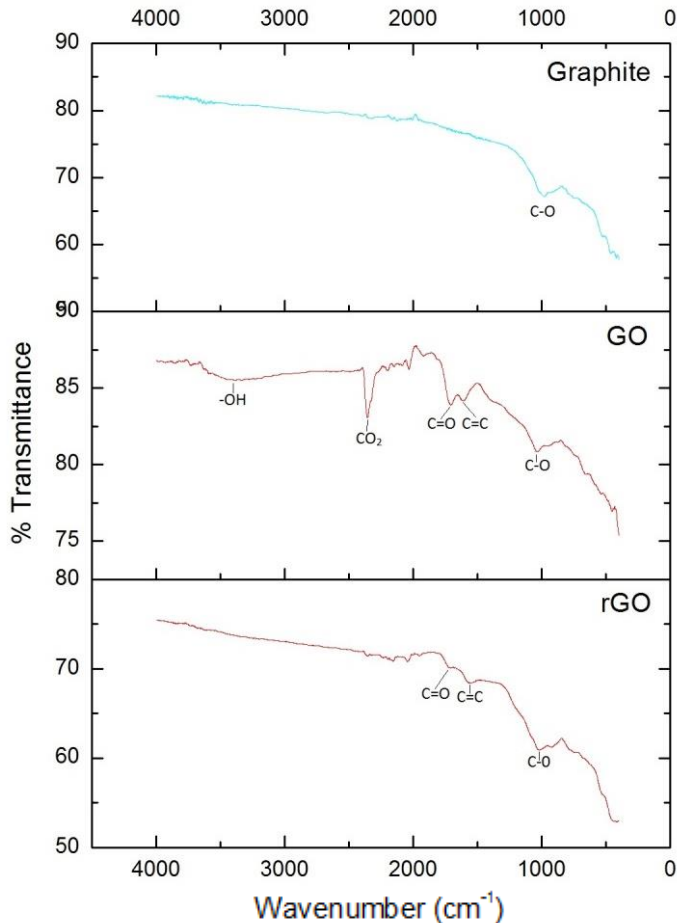
Pengujian *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk selama proses sintesa. Pengujian ini menggunakan mesin Nicolet IS10 dengan *range* panjang gelombang sebesar $500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$. Pengujian FTIR dilakukan terhadap grafit, grafit oksida, rGO dan B-rGO

Gambar 4.3 menunjukkan spectrum IR dari sampel grafit, grafit oksida dan *reduced graphene oxide* (rGO). Dari gambar menunjukkan bahwa grafit memiliki spectrum IR yang rapih dan hanya menunjukkan peak ikatan C-O (*Stretch Alkoxy*) dengan panjang gelombang 1043 cm^{-1} . (Tan. 2013)

Proses oksida grafit menjadi grafit oksida akan memunculkan beberapa peak gelombang yang diidentifikasi sebagai ikatan O-H dengan panjang gelombang 3552 cm^{-1} , ikatan C-O dengan panjang gelombang 1037 cm^{-1} , ikatan C=C (*Aromatic*) dengan panjang gelombang 1532 cm^{-1} , ikatan C=O (*Carbonyl*) dengan panjang gelombang 1694 cm^{-1} dan ikatan selain peak tersebut pada grafit oksida muncul peak pada panjang gelombang 2339 cm^{-1} yang dapat diidentifikasi sebagai gas CO_2 ($\text{O}=\text{C}=\text{O}$) yang berikatan diantara kisi grafit oksida. Gugus ini bukan merupakan



komponen dari rGO, namun gas CO_2 dari lingkungan yang menempel pada permukaan graphene. (Tianman, 2011).



Gambar 4.3 Pola Spektrum Grafit, Grafit Oksida, rGO



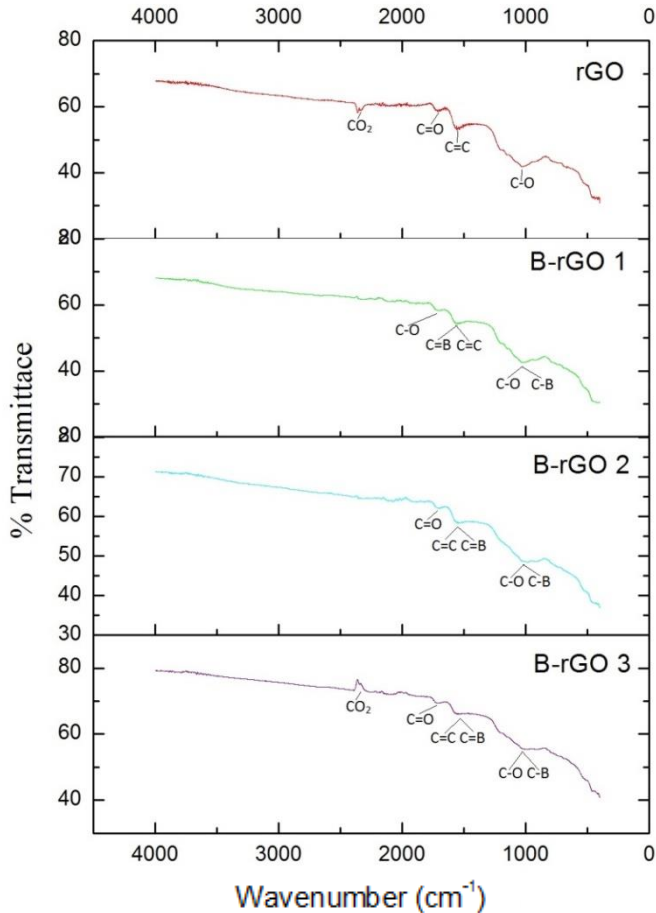
Saat dilakukan proses reduksi dan juga *exfoliated* pada grafit oksida akan menghilangkan ikatan-ikatan O-H sehingga tidak terlihat lagi pada spectrum rGO. Selain itu Pada rGO tidak lagi menunjukkan absorbansi pada 2339 cm^{-1} yang merupakan gugus ikatan CO_2 ($\text{O}=\text{C}=\text{O}$), hal ini menunjukkan bahwa sintesis rGO telah berhasil menghilangkan ikatan O-H dan juga CO_2 yang terperangkap (Socrates. 2001). Pada rGO terdapat beberapa ikatan yang umum seperti ditunjukkan pada **Table 4.4**

Tabel 4.4 Jenis gugus ikatan pada sampel rGO (Tiannan. 2011) (Socrates. 2001).

No	Wavenumber	Range Wavenumber	Jenis Ikatan
1	1043 cm^{-1}	$1030\text{-}1150\text{ cm}^{-1}$	C – O (Alkoxy)
2	1532 cm^{-1}	$1400\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$	C = C (Aromatic)
3	1694 cm^{-1}	$1670\text{-}1820\text{ cm}^{-1}$	C = O (Carbonyl)
4	3552 cm^{-1}	$3500\text{-}3700\text{ cm}^{-1}$	O – H (Alkoxy)

Dilakukan juga pengujian FTIR pada sampel rGO dan B-rGO (**Gambar 4.4**) dimana spectrum IR ditunjukkan seperti pada gambar dimana bertujuan untuk mengetahui perbedaan antara rGO dengan B-rGO.

Terlihat pada seluruh sampel rGO dan B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 1 ml, 2 ml dan 3 ml memiliki peak spectrum IR yang seragam di ikatan C-O dengan panjang gelombang 1037 cm^{-1} , ikatan C=C (*Aromatic*) dengan panjang gelombang 1532 cm^{-1} , ikatan C=O (*Carbonyl*) dengan panjang gelombang 1694 cm^{-1} . Pada sampel rGO dan B-rGO dengan penambahan 3 ml H_3BO_3 memiliki kandungan gas CO_2 pada kisi permukaanya yang ditunjukkan pada peak 2339 cm^{-1} .



Gambar 4.4 Pola Spektrum rGO dan B-rGO dengan penambahan H₃BO₃ 1,2 dan 3 ml



Pada seluruh B-rGO memiliki ikatan –B yang berada pada panjang gelombang ikatan C-B dengan panjang gelombang 1057 cm^{-1} , ikatan C=B (*Aromatic*) dengan panjang gelombang 1572 cm^{-1} . Peak –B akan memiliki kemiripan dengan peak –C pada -rGO karena atom boron yang bersifat non-organik sehingga sulit untuk terbaca oleh spectrum IR. Boron yang telah terdoping akan mengikat atom karbon dan karena jumlahnya yang sedikit maka ikatan boron akan sukar terlihat. (Mu. 2016). Pada B-rGO umumnya ikatan boron akan memiliki *wavenumber* seperti yang ditunjukkan pada **Table 4.5**

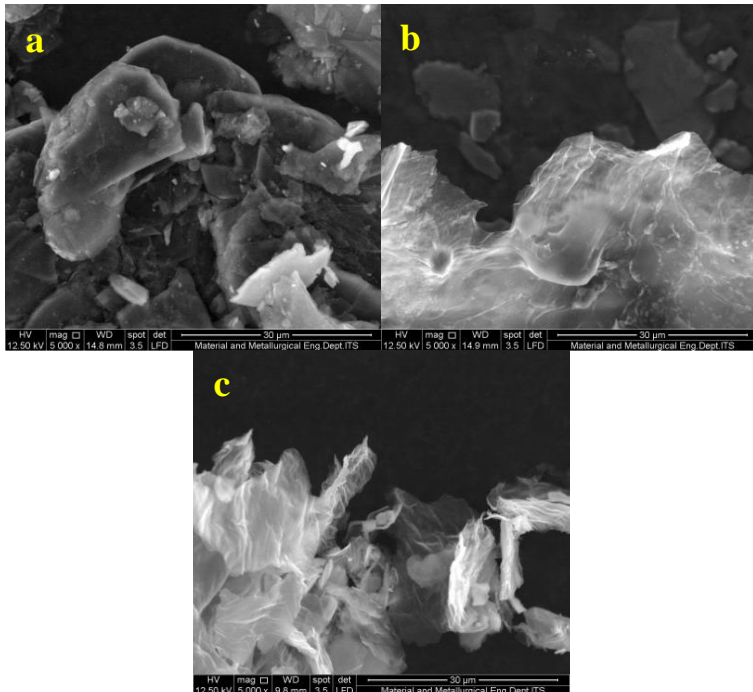
Tabel 4.5 Gugus Ikatan boron pada sampel B-rGO (Mu. 2016).

No	Wavenumber	Range Wavenumber	Jenis Ikatan
1	1057 cm^{-1}	$1030\text{-}1150\text{ cm}^{-1}$	C – B (Boronic)
2	1572 cm^{-1}	$1400\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$	C = B (Borinic)

4.3 Hasil Pengujian SEM-EDS

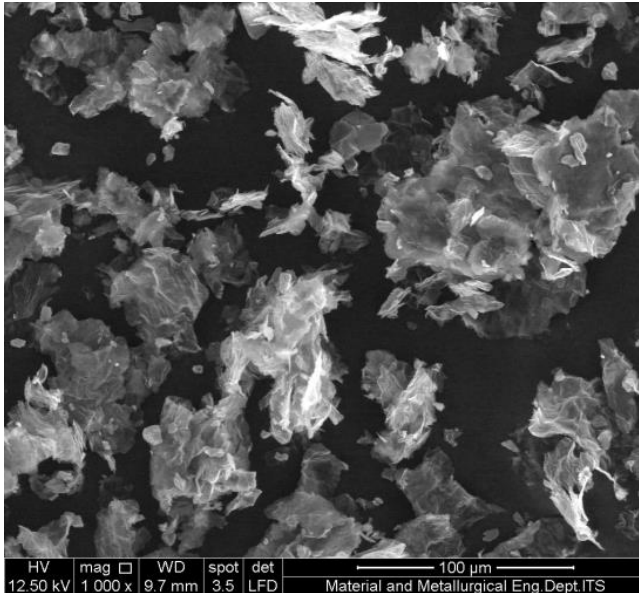
Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan pada sampel grafit, grafit oksida, rGO, B-rGO, dan elektroda *nickel foam – reduced graphene oxide* (Ni-rGO), serta Ni-B—rGO dengan variasi penambahan H_3BO_3 1 ml, 2 ml dan 3 ml. Alat yang digunakan dalam pengujian SEM yaitu INSPECT S50.

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui ukuran serta morfologi permukaan dari sampel-sampel tersebut. Pada **Gambar 4.5** ditunjukkan perbedaan permukaan morfologi dari sampel grafit, grafit oksida, dan rGO dengan perbesaran 5000x.



Gambar 4.5 Hasil SEM 5.000x (a)grafit, (b)grafit oksida, (c)rGO tanpa doping

Berdasarkan **Gambar 4.5a** terlihat bahwa grafit memiliki morfologi dengan bentuk *flakes*. Grafit memiliki partikel yang kecil dan tidak teratur. Setelah grafit mengalami oksidasi menjadi grafit oksida, maka morfologi yang terjadi menjadi lembaran-lembaran berlapis sehingga terlihat tebal seperti yang ditunjukkan **Gambar 4.5b**. Ketebalan dapat ditunjukkan dari gradasi warna yang terlihat. Kemudian grafit oksida mengalami reduksi menjadi rGO. Pada **Gambar 4.5c** terlihat lembaran-lembaran lebih tipis namun bertumpuk dari rGO yang terbentuk oleh pelupusan (*chemical exfoliation*) grafit oksida.

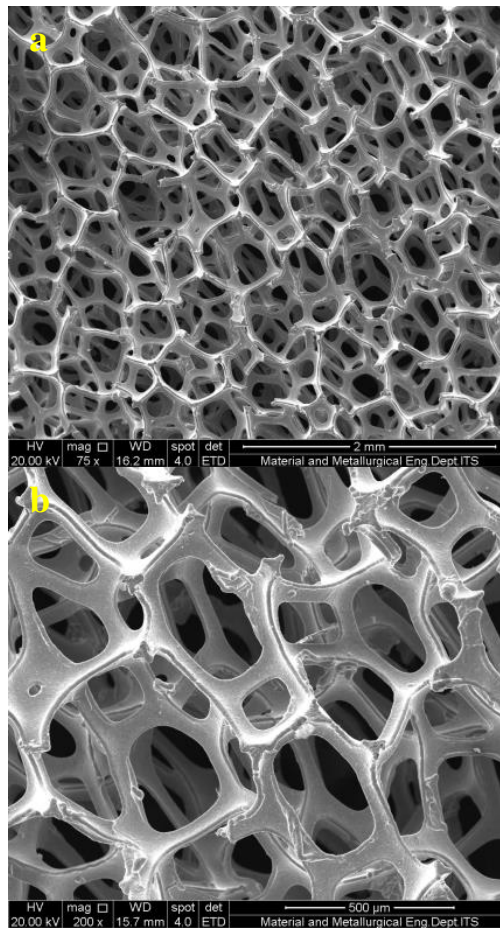


Gambar 4.6 Distribusi *Graphene* perbesaran 1000x

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa rGO memiliki bentuk lapisan yang tipis dan terdistribusi secara merata. Gradasi warna yang menebal dikarenakan sampel rGO yang bertumpuk. Ukuran rGO sekitar 20-30 mikron dengan bentuk flakes.

Setelah mendapatkan rGO yang diinginkan, rGO didepositkan kedalam *nickel foam* yang berongga. Pengujian SEM pada *elektroda nickel foam* bertujuan untuk melihat persebaran rGO yang didepositkan ke dalam rongga *nickel foam* tersebut.

Gambar 4.7 (a-b) menunjukkan gambar SEM dari *nickel Foam* polos dengan bentuk seperti *network* sehingga memiliki bentuk berpori. Dengan bentuk sponge/berpori, *nickel Foam* yang berfungsi sebagai pengumpul arus akan memberikan akses yang lebih mudah bagi elektrolit serta meningkatkan luas area kontak antara rGO dan elektrolit akibat strukturnya yang berupa *porous* dengan ukuran diameter pori sekitar 250-500 mikron.



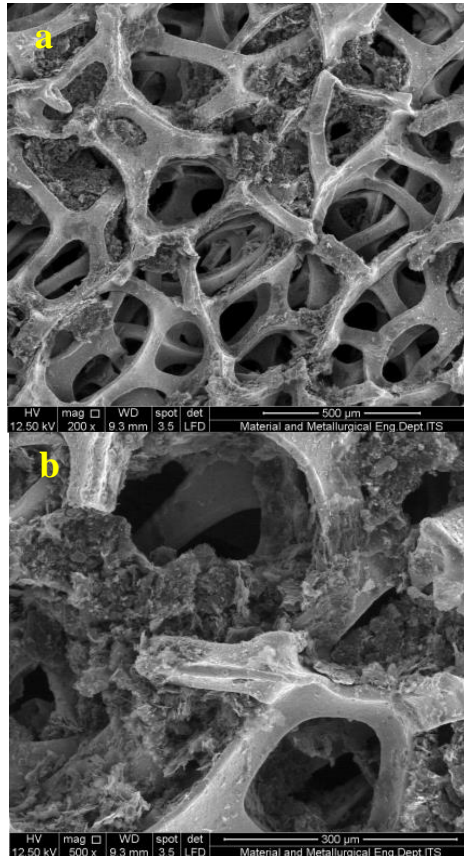
Gambar 4.7 Hasil SEM *nickel foam* dengan perbesaran (a)75x
(b)200

Sampel rGO yang telah berhasil disintesis memiliki rata-rata ukuran sebesar 20-30 mikron. Dengan ukuran sebesar itu rGO memiliki kemungkinan untuk masuk kedalam pori-pori *nickel foam*. Permukaan *nickel foam* memiliki ukuran sekitar 50 mikron

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



sehingga memungkinkan untuk rGO menempel pada permukaannya. Kecilnya ukuran rGO maka diharapkan akan meningkatkan luas area kontak antara *nickel foam* dan rGO.



Gambar 4.8 Hasil SEM *Nickel Foam* yang terdeposit *rGO* perbesaran (a)200x (b)500x

Pengujian SEM juga dilakukan terhadap elektroda *Ni-rGO* untuk mengetahui morfologi persebaran rGO yang telah di depositkan pada *nickel foam*. *Nickel foam* dicelupkan ke dalam

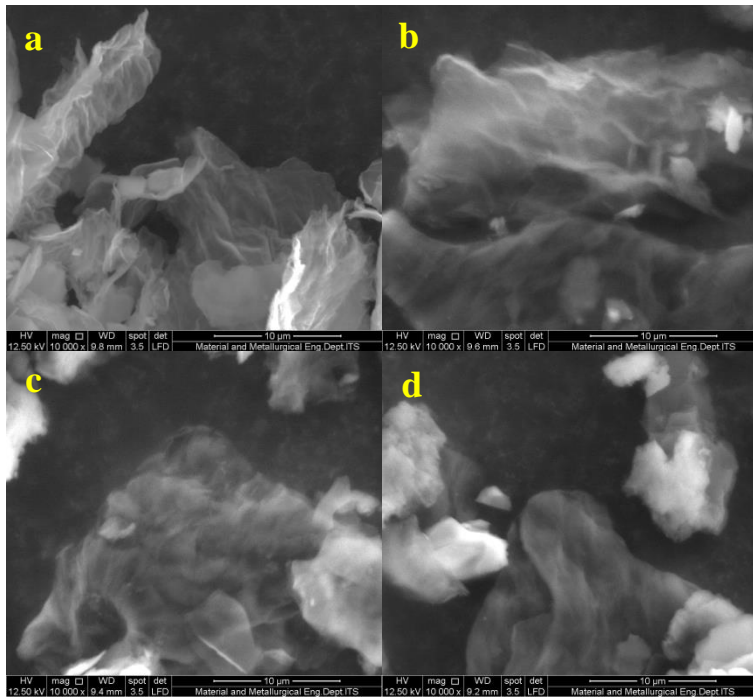


larutan rGO kemudian didepositkan menggunakan metode ultrasonikasi yang akan membuat rGO masuk kedalam *nickel foam* karena pengaruh getaran yang dihasilkan instrumen ultrasonikasi.

Ketika rGO dicampur dengan akuades akan menghasilkan larutan rGO yang didepositkan kedalam porous *nickel foam*. Pada **Gambar 4.8**, nampak bahwa rGO telah berhasil didepositkan. Terlihat pula bahwa rGO yang berupa lembaran-lembaran tipis mengisi atau menutupi permukaan pori yang ada di *Nickel Foam*.

Pada **gambar 4.8 (b)** menunjukkan juga bahwa rGO menumpuk pada sebagian area. Walaupun telah terdeposit kedalam *nickel foam*, rGO tidak seluruhnya menutup permukaan dari *nickel foam*. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya luas permukaan aktif dari elektroda.

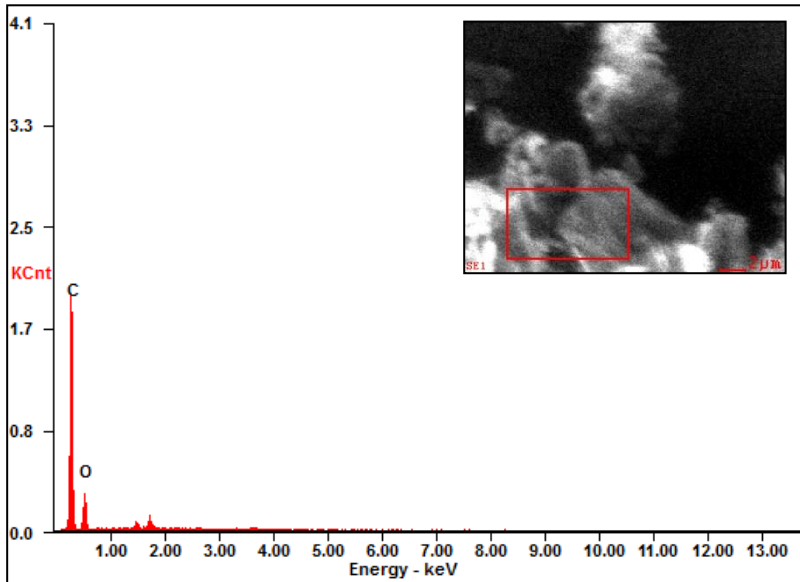
Gambar 4.9 menunjukkan morfologi *rGO* hasil doping boron dengan penambahan H_3BO_3 1 ml, 2 ml dan 3 ml. Dari semua hasil tersebut, dapat dilihat bahwa ke sampel rGO mempunyai bentuk morfologi yang hampir sama, yaitu berupa lembaran transparan tipis dan berbentuk flakes, yang terdiri dari beberapa layer rGO yang menumpuk sehingga terlihat lebih tebal dan warna yang lebih kontras, kadang juga terlihat adanya *single layer*. pengamatan morfologi untuk rGO dengan *doping* terlihat sama dan sulit untuk dibedakan karena atom yang terdoping akan larut dan sedikit sehingga sulit merubah morfologi rGO (Geng. 2011).



Gambar 4.9 Hasil SEM perbesaran 10000x (a)rGO dan B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 (b)1ml (c)2ml (d)3ml



Selanjutnya, Dilakukan pengujian SEM-EDX (Energy Dispersive Spectroscopy) untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang berada pada sampel rGO dan B-rGO. Hasil EDX untuk rGO ditunjukkan oleh **gambar 4.10**



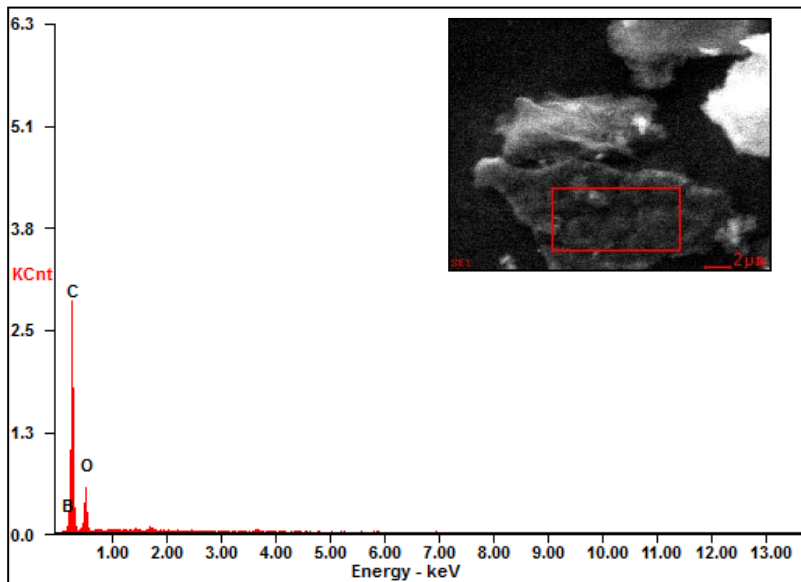
Gambar 4.10 Hasil Kurva EDS untuk rGO

Tabel 4.6 Komposisi unsur penyusun *rGO*

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	64.02	70.33
<i>OK</i>	35.98	29.67

Dari **Tabel 4.6** diatas, dapat diketahui bahwa rGO yang telah berhasil disintesis tersusun atas unsur dominan karbon dan Oksigen. Dengan persentase atom karbon sebesar 70.33% dan atom Oksigen sebesar 29.67 serta dengan rasio atom C/O untuk *rGO* adalah sebesar 2.37:1.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

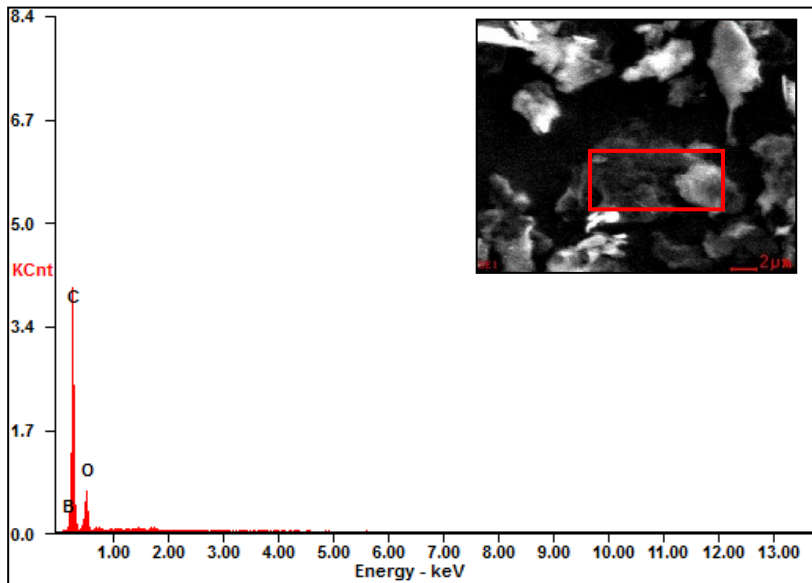


Gambar 4.11 Hasil Kurva EDS untuk B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 1ml

Tabel 4.7 Komposisi unsur penyusun B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 1ml

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>BK</i>	03.14	03.59
<i>CK</i>	63.29	69.01
<i>OK</i>	33.57	27.40

Dari **Tabel 4.7** diatas, dapat diketahui bahwa B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 1ml yang telah berhasil disintesis tersusun atas unsur dominan karbon dan oksigen serta atom boron yang terdoping. Persentase atom dominan untuk atom karbon sebesar 69.01% dan atom oksigen sebesar 27.40 serta dengan rasio atom C/O untuk rGO adalah sebesar 2.52:1. Atom boron yang telah terdoping sebesar 03.59%



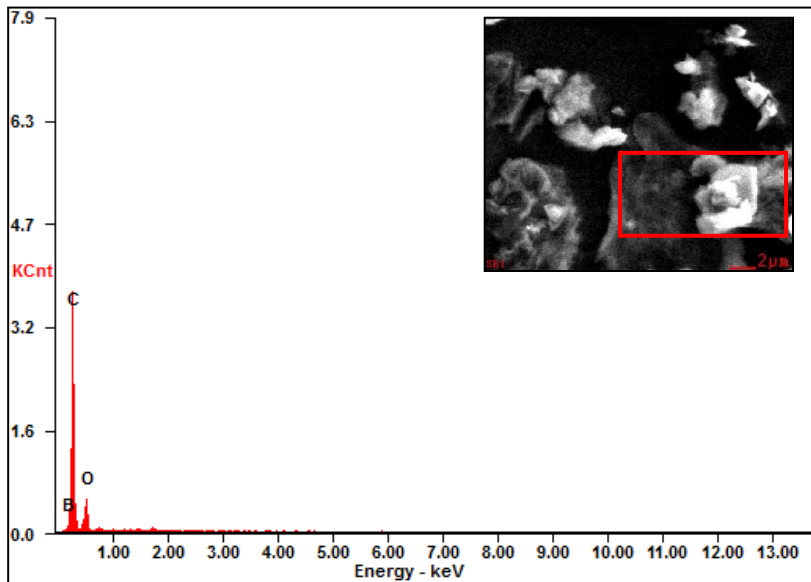
Gambar 4.12 Hasil Kurva EDS untuk B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 2ml

Tabel 4.8 Komposisi unsur penyusun B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 2ml

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>BK</i>	03.46	04.37
<i>CK</i>	64.27	69.60
<i>OK</i>	32.26	26.03

Dari **Tabel 4.8** diatas, dapat diketahui bahwa B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 2ml yang telah berhasil disintesis tersusun atas unsur dominan karbon dan oksigen serta atom boron yang terdoping. Persentase atom dominan untuk atom karbon sebesar 69.60% dan atom oksigen sebesar 26.03 serta dengan rasio atom C/O untuk rGO adalah sebesar 2.67:1. Atom boron yang telah terdoping sebesar 04.37%

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.13 Hasil Kurva EDS untuk B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 3ml

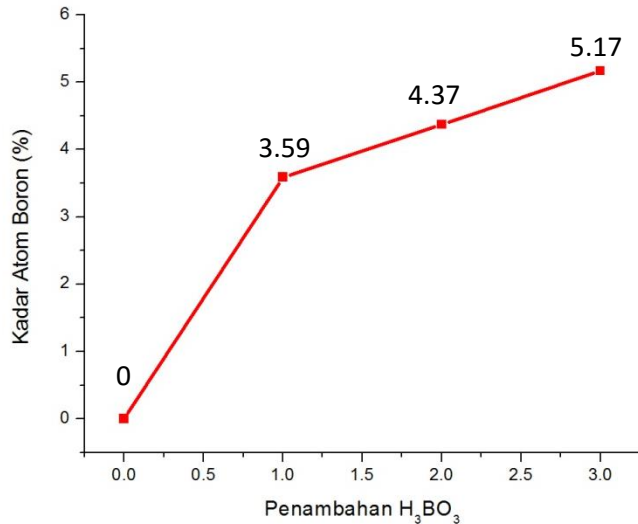
Tabel 4.9 Komposisi unsur penyusun B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 3ml

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
BK	04.01	05.17
CK	67.48	72.20
OK	28.51	22.63

Dari **Tabel 4.9** diatas, dapat diketahui bahwa B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 3ml yang telah berhasil disintesis tersusun atas unsur dominan karbon dan oksigen serta atom boron yang terdoping. Persentase atom dominan untuk atom karbon sebesar 72.20% dan atom oksigen sebesar 22.63 serta dengan rasio atom C/O untuk rGO adalah sebesar 3.2:1. Atom boron yang telah terdoping sebesar 05.17%

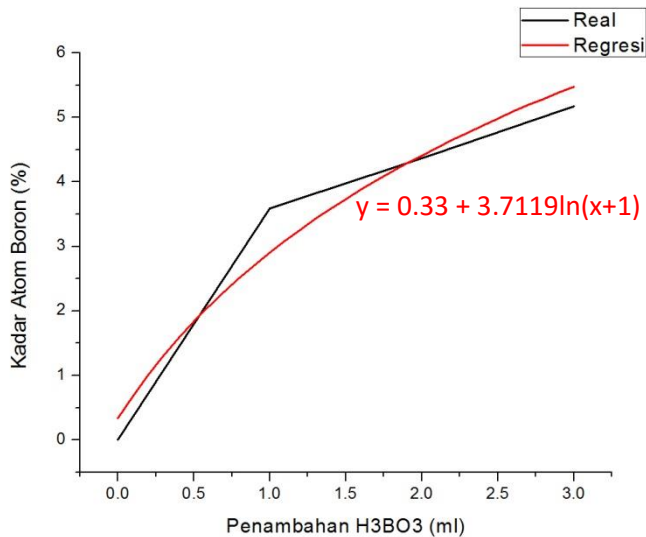


Dari hasil SEM-EDX yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa proses pendopingan dengan penambahan H_3BO_3 1M dapat menambahkan kadar atom boron pada material rGO. Grafik penambahan kadar atom boron ditunjukkan oleh **Gambar 4.13**



Gambar 4.14 Grafik pengaruh penambahan H_3BO_3 pada persentase Kandungan atom Boron pada B-rGO

Dari hasil ini grafik memiliki trend terhadap penambahan H_3BO_3 . Maka dilakukan Analisa regresi. Analisa regresi dilakukan untuk mendapatkan trend pengaruh dari penambahan jumlah H_3BO_3 pada B-rGO. Dari hasil perhitungan maka dihasilkan persamaan seperti yang ditunjukkan pada **gambar 4.15**. Dari hasil ini menunjukkan bahwa pada B-rGO akan mengalami kenaikan kadar atom boron sebandingan dengan jumlah H_3BO_3 yang dimasukan.



Gambar 4.15 Grafik Regresi Pengaruh Penambahan H_3BO_3 pada Persentase Kandungan Atom Boron B-rGO

Melihat kadar rasio C/O Dari Hasil EDX terlihat sampel rGO memiliki ratio C/O sebesar 2.37:1, seiring penambahan H_3BO_3 pada rGO dan menjadi B-rGO ratio kadar atom C/O bertambah menjadi 2.52:1 pada B-rGO 1ml, 2.67:1 pada B-rGO 2ml dan 3.2:1 pada B-rGO 3ml. Hasil Kadar atom boron memiliki kesesuaian dengan pernyataan Mu. (2016) dimana pada seluruh B-rGO memiliki ikatan –B yang telah terdoping dengan cara melepas ikatan –O sehingga memiliki peak IR yang mirip. Ikatan –B akan mengikat atom karbon dan hal ini akan membuat kadar ikatan –O pada rGO akan lebih sedikit. Sehingga seiring penambahan kadar atom boron pada rGO akan mengurangi kadar atom oksigen pada rGO dan meningkatkan ratio atom C/O



4.4 Hasil Pengujian Four Point Probe (FPP)

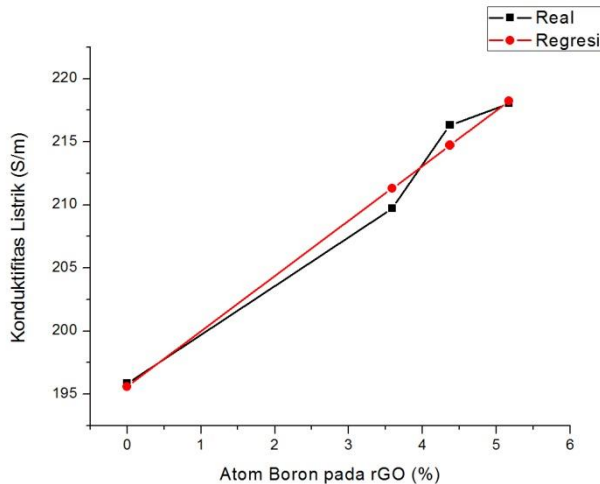
Pengujian *Four Point Probe* (FPP) dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan Input 3 V *pada power supply* dan menggunakan arus DC dengan rentang 3.4 – 3.6 mA. Hasil pengujian diperlihatkan pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian *Four Point Probe* pada sampel rGO dan B-rGO

N o	% B	Tebal (cm)	Hambatan (Ω)	Resistansi (Ω/cm)	Konduktifitas (S/m)
1	0 %	0.003	37.608	0.511	195.84
2	3.59 %		35.089	0.477	209.72
3	4.37 %		34.025	0.462	216.34
4	5.17 %		33.774	0.459	218.05

Perhitungan konduktifitas listrik dilakukan menggunakan **persamaan 3.4 dan 3.5**. Berdasarkan tabel, dapat diketahui perbandingan konduktivitas dari material rGO dan B-rGO. rGO memiliki konduktifitas sebesar 195.84 S/m. B-rGO dengan kandungan atom boron 3.59% memiliki konduktifitas sebesar 209.72 S/m. B-rGO dengan kandungan atom boron 4.37% memiliki konduktifitas sebesar 216.34 S/m. B-rGO dengan kandungan atom boron 5.17% memiliki konduktifitas sebesar 218.05 S/m.

Dari hasil ini diketahui bahwa nilai konduktifitas pada rGO dan B-rGO mengalami kenaikan yang berbanding lurus dengan jumlah persentase atom boron yang ada pada B-rGO. Semakin tinggi kadar atom boron maka rGO akan memiliki nilai konduktifitas yang semakin baik. Perbandingan ini dapat diamati dari **gambar 4.16**.



Gambar. 4.16 Grafik Perbandingan Konduktifitas Listrik pada rGO dan B-rGO

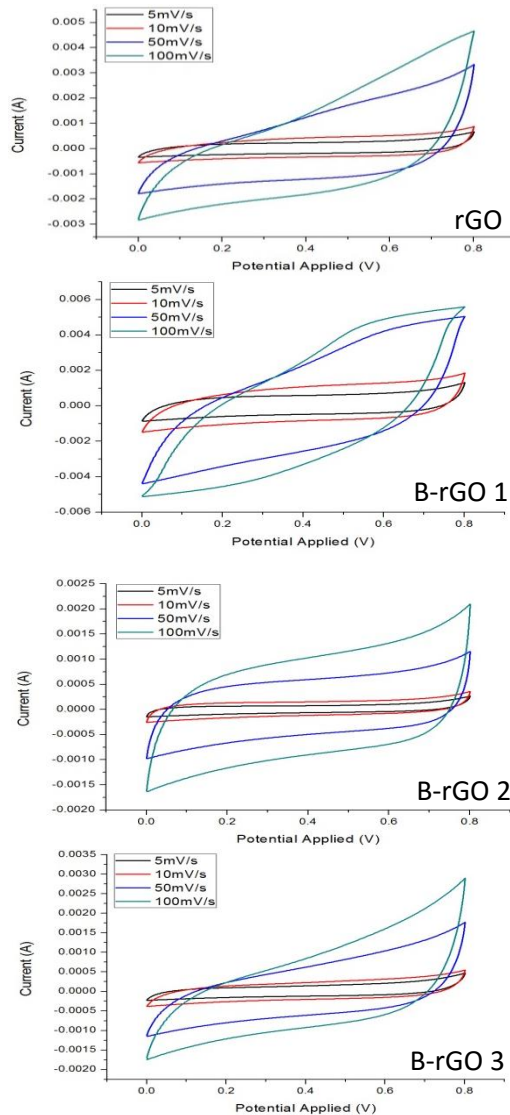
Menurut Marconcini (2012) peningkatan konduktifitas pada B-rGO dikarenakan adanya penambahan *impurities* hole pada *band gap* rGO sehingga membuat elektron lebih mudah berpindah dan menyebrangi *band gap* dari *valance band* ke *conductivity band*, hal ini juga akan membuat *energy Fermi* lebih kecil karena pengaruh penambahan hole yang memperlebar luas *valance band*. Hal ini ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.16**



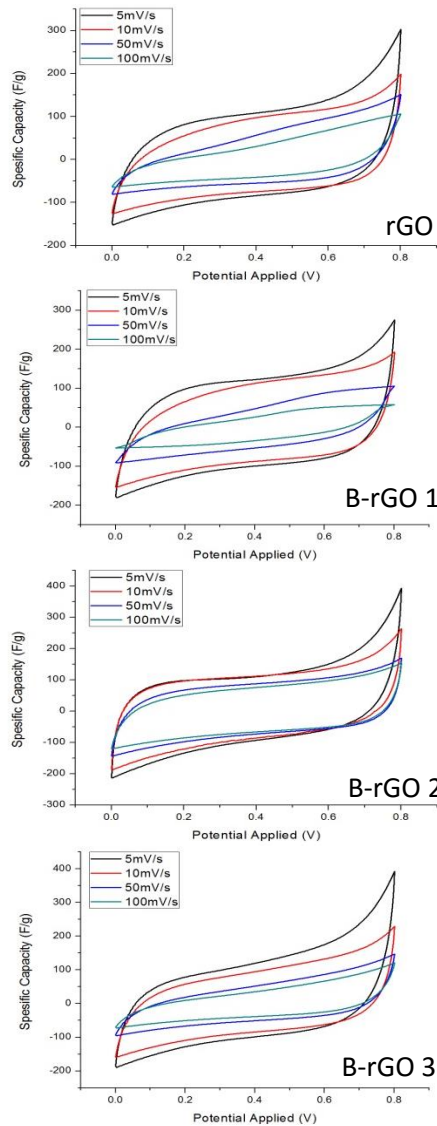
4.5 Hasil Pengujian Cyclic Voltametry (CV)

Pengujian *Cyclic Voltammetry (CV)* dilakukan pada sampel elektroda *Nickel Foam – Reduced Graphene Oxide (Ni-rGO)* dan *Nickel Foam – Boron Doped Reduced Graphene Oxide (Ni-B-rGO)* dengan penambahan H_3BO_3 1 ml, 2 ml dan 3 ml dengan tujuan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik dari rGO dan B-rGO dengan media *current electron nickel foam*. Alat yang digunakan dalam pengujian CV yaitu AUTOLAB PG STAT 302 METHROM di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS dengan reference electrode Ag/AgCl dan counter electrode Pt 99.999%. Hasil pengujian CV untuk sampel *Ni-rGO* dan *Ni-B-rGO* dengan penambahan H_3BO_3 1 ml, 2 ml dan 3 ml pada kurva *Current vs Potential* dan *Spesific Capacitance vs Potential* ditunjukkan oleh **Gambar 4.17** dan **Gambar 4.18**

Penggunaan elektrolit netral dari Na_2SO_4 pada potensial kerja 0-0.8 V tidak menghasilkan gundukan (hump) seperti yang terlihat pada **Gambar 4.17**. Adapun gundukan (hump) merupakan indikator terjadinya reaksi redoks atau efek *pseudocapacitance*. Adapun yang terjadi dalam pengujian yaitu pembentukan *double capacitor*. karena diagram CV yang terbentuk menyerupai persegi panjang.



Gambar 4.17 Perbandingan hasil uji CV grafik I vs E sampel elektroda Ni-G dan Ni-B-rGO



Gambar. 4.18 Perbandingan hasil uji CV grafik C vs E sampel elektroda Ni-G dan Ni-B-rGO



Keempat kurva hasil pengujian CV diatas memiliki karakteristik bentuk yang hampir sama yaitu memiliki bentuk mendekati rectangular / persegi panjang yang menandakan sifat EDLC. Untuk mendapatkan nilai kapasitansi digunakan **persamaan 3.6** dengan bantuan perhitungan menggunakan software origin yang nantinya akan dibandingkan setiap nilai kapasitansi terhadap perlakuan *scan rate* yang berbeda-beda. Pemberian *scan rate* yang berbeda-beda yaitu 5mV/s, 10mV/s, 50 mV/s, dan 100mV/s. Pemberian perlakuan *scan rate* yang berbeda-beda bertujuan untuk mengetahui pengaruh *scan rate* terhadap nilai kapasitansi yang didapatkan. *Scan rate* sangat mempengaruhi bentuk kurva dan nilai kapasitansi spesifik. Nilai kapasitansi spesifik meningkat seiring dengan penurunan *scan rate*. Nilai ini ditampilkan pada **Tabel 4.11**.

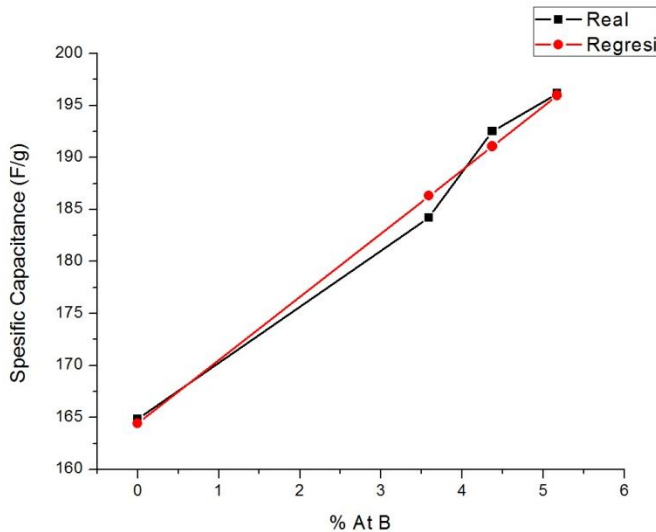
Dari **Tabel 4.11** juga dapat ditunjukkan bahwa rGO memiliki kapasitansi spesifik sebesar 164.94 F/g pada *scan rate* 5mV/s. Sedangkan *scan rate* 10 mV/s menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 135.33 F/g. Nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 50mV/s sebesar 94.19 F/g dan nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 100mV/s sebesar 67.47 F/g Pada B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 1M sebanyak 1 ml dengan jumlah atom boron 3.59 %at memiliki nilai kapasitansi spesifik sebesar 183.82 F/g pada *scan rate* 5mV/s. Sedangkan *scan rate* 10 mV/s menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 155.82 F/g. Nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 50mV/s sebesar 88.26 F/g dan nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 100mV/s sebesar 54.53 F/g. Selanjutnya Pada B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 1M sebanyak 2 ml dengan jumlah atom boron 4.37 %at memiliki nilai kapasitansi spesifik sebesar 191.46 F/g pada *scan rate* 5mV/s. Sedangkan *scan rate* 10 mV/s menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 168.64 F/g. Nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 50mV/s sebesar 131.65 F/g dan nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 100mV/s sebesar 115.53 F/g. Elektroda yang terakhir pada B-rGO dengan penambahan H_3BO_3 1M sebanyak 3 ml dengan jumlah atom boron 5.17 %at memiliki nilai



kapasitansi spesifik sebesar 195.37 F/g pada *scan rate* 5mV/s. Sedangkan *scan rate* 10 mV/s menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 150.27 F/g. Nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 50mV/s sebesar 90.85 F/g dan nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 100mV/s sebesar 69.02 F/g.

Tabel 4.11 Perbandingan hasil *Specific Capacitance* Terhadap *Scan Rate* dan Jumlah Doping Atom Boron

No	Elektroda	At %B	Scan Rate (mV/s)	Specific Capacitance (F/g)
1	rGO	0	5	164.84
			10	135.33
			50	94.19
			100	67.47
2	B-rGO 1	3.59	5	184.21
			10	156.16
			50	88.47
			100	54.65
3	B-rGO 2	4.37	5	192.52
			10	169.58
			50	132.43
			100	116.19
4	B-rGO 3	5.17	5	196.16
			10	150.97
			50	91.27
			100	69.34



Gambar. 4.19 Nilai *Spesific Capacitance* Material rGO dan B - rGo terhadap Penambahan Jumlah Atom Boron

Dari **Gambar 4.19** dan **Tabel 4.11** hasil ini dapat terlihat trend peningkatan kapasitansi spesifik dimana terlihat juga regresi yang meningkat. Hal ini berarti atom boron akan meningkatkan nilai kapasitansi spesifik pada rGO. Menurut Wu (2011) hal ini karena adanya *defect* akibat keberadaan atom boron sehingga mengakibatkan melebaranya *interlayer* pada rGO sehingga memudahkan elektron mengalami *intercalation*. Selain itu menurut Agnoli (2016) atom boron memiliki sifat dimana memiliki nilai keaktifan yang tinggi karena adanya *hole* yang terdoping dalam karbon, hal ini meningkatkan performa elektrokimianya karena menutupi hambatan bidang karbon yang tidak aktif dan memperbaiki sifat konduktifitas listriknya. Selain itu densitas elektron karena pengaruh defect boron mengalami perubahan karena pembentukan ikatan kovalen C-B yang dimana akan meningkatkan penyerapan *energy electronegative* pada rGO. Menurut Gong (2015) rGO dengan doping memiliki



kapasitansi yang lebih besar dikarenakan doping menyebabkan mikro porous pada rGO meningkatkan *wettability* pada elektroda/elektrolit.

Dari trend dapat diamati saat jumlah atom boron diatas 4.37 %at, grafik mengalami penurunan sudut. Hal ini mengindikasikan bahwa atom boron yang semakin banyak tidak akan berpengaruh banyak terhadap sifat kapasitansi rGO. Hal ini sesuai berdasarkan penelitian Wu (2015) penambahan atom doping yang terlalu banyak dapat membuka *band gap* yang akan menurunkan sifat elektriknya.

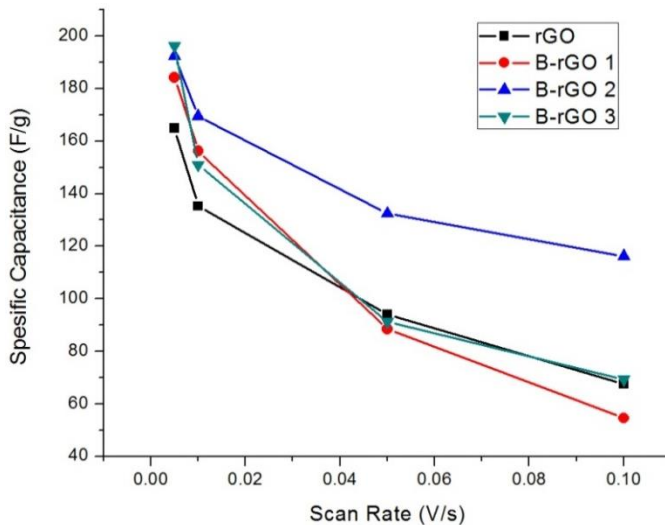
Pada **Gambar 4.17, Gambar 4.18, dan Tabel 4.12** yang menunjukkan bahwa *scan rate* semakin tinggi maka nilai kapasitansinya akan menurun. Hal ini terjadi karena *scan rate* mempengaruhi laju aliran ion-ion dari elektrolit menuju ke dalam elektroda *Ni-rGO*. Dengan *scan rate* yang tinggi maka laju aliran tegangan menjadi cepat, akibatnya waktu yang lebih singkat bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam *Ni-rGO* sehingga membentuk *double layer* yang sedikit. Sedangkan pada *scan rate* yang rendah, laju aliran tegangan menjadi lambat, akibatnya waktu bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam *Ni-rGO* lebih lama dan membentuk *double layer* lebih banyak (Conway 1995).

Adapun dalam pengujian ini menggunakan potensial kerja 0-0,8 V atau maksimum kerjanya 800 mV/s. Bila dianalisa berdasarkan perhitungan, jika dengan *scan rate* 100 mV/s maka waktu difusi ion-ion elektrolit ke dalam *Ni-rGO* hanya 16 sekon. Sedangkan dengan *scan rate* 5 mV/s, waktu difusi ion-ion elektrolit tersebut sebesar 320 sekon lebih besar dari penggunaan dengan *scan rate* 100 mV/s. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kapasitansi *Ni-rGO* dipengaruhi oleh waktu difusi ion-ion elektrolit. Grafik pengaruh *scan rate* terhadap nilai *kapasitansi spesifik* ditunjukkan pada **gambar 4.20**.

Tabel 4.12 menunjukan persentase reduksi penurunan nilai kapasitansi spesifik terhadap perubahan *scanrate*. Dimana pada rGO tanpa pendopingan memiliki pengurangan sebesar 59.09%,



kemudian B-rGO penambahan 1 ml memiliki pengurangan 70.73%, kemudian B-rGO penambahan 2 ml memiliki pengurangan 39.96%. kemudian B-rGO penambahan 1 ml memiliki pengurangan 64.67%. dari keseluruhan hasil ini dapat rata-rata 58.64%



Gambar 4.20 Pengaruh *Scan Rate* terhadap nilai *Specific Capacitance* Material rGO dan B-rGO

Tabel 4.12 Persentasi Reduksi Nilai Kapasitansi Spesifik Terhadap *Scanrate*

No	%B at (%)	Reduksi (%)	Rata-Rata (%)
1	0	59.09	58.64
2	3.58	70.73	
3	4.37	39.96	
4	5.17	64.67	



Nilai kapasitansi hasil dari pengujian CV juga dapat digunakan untuk menentukan nilai energi spesifik dan daya spesifik dengan menggunakan **persamaan 3.4** dan **persamaan 3.5**. Hasil Tabel perhitungan spesifik energi dan spesifik daya ditunjukkan oleh **Tabel 4.13** dan Grafik ditunjukkan pada **Gambar 4.21**. Adapun nilai spesifik daya yang paling besar pada *scan rate* 100 mV/s dan menurun dengan turunnya nilai *scan rate*, sebaliknya pada spesifik energi dimana terbesar dengan *scan rate* 5mV/s

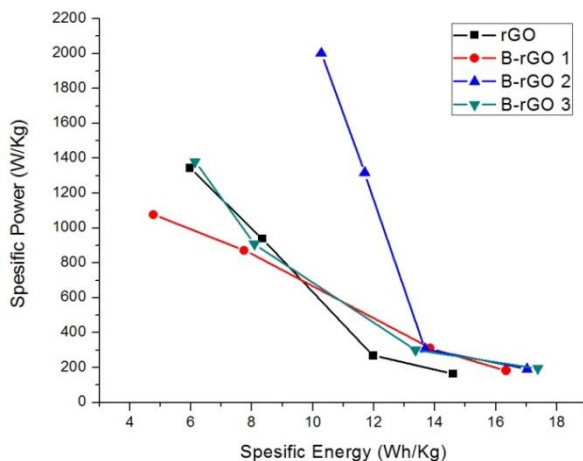
Tabel 4.13 Perbandingan hasil Energi Spesifik dan Daya Spesifik Terhadap *Scan Rate* dan Jumlah Doping Atom Boron

N o	Elektroda	At %B	S.R (mV/s)	C (F/g)	W (Wh/kg)	P (W/kg)
1	rGO	0	5	164.20	14.60	164.20
			10	134.78	11.98	269.56
			50	93.83	8.34	938.27
			100	67.18	5.97	1343.62
2	B-rGO 1	3.59	5	183.82	16.34	183.82
			10	155.82	13.85	311.63
			50	87.20	7.75	871.95
			100	53.80	4.78	1076.06
3	B-rGO 2	4.37	5	192.52	17.02	191.46
			10	153.93	13.68	307.86
			50	131.65	11.70	1316.54
			100	115.53	10.27	2310.59
4	B-rGO 3	5.17	5	195.37	17.37	195.37
			10	150.27	13.36	300.54
			50	90.85	8.08	908.47
			100	69.02	6.13	1380.31



Pada **Tabel 4.13** menunjukkan dengan peningkatan *scan rate* maka nilai dari spesifik energi akan menurun dan sebaliknya pada spesifik daya yang mengalami peningkatan berbanding dengan kenaikan *scan rate*. Nilai spesifik energi tertinggi dimiliki B-rGO dengan penambahan 3ml H_3BO_3 1M pada scan rate 5 mV/s yakni memiliki nilai 17.37 Wh/kg dan nilai *specific power* tertinggi dimiliki B-rGO dengan penambahan 2ml H_3BO_3 1M pada scan rate 100 mV/s yakni memiliki nilai 2310.59 W/kg.

Walaupun B-rGO dengan kandungan boron 5.17% memiliki kapasistansi tertinggi pada scan rate 5mv/s tetapi pada B-rGO dengan boron 4.37% memiliki kestabilan scanrate yang lebih baik sehingga menunjukkan jika memiliki difusi-difusi elektron yang lebih baik. Menurut Zhang (2009) doping pada rGO dapat meningkatkan konduktifitas dimana mempercepat mobilitas elektron pada permukaan elektroda tetapi apabila keheteroatomnya besar dapat mengurangi efisiensi transpor elektronnya.



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai *Specific Power* dan *Specific Energy* Pada rGO dan B-rGO



Dari hasil perhitungan daya spesifik dan energy spesifik pada **Tabel 4.13** nampak bahwa doping boron pada rGO memenuhi karakteristik sebagai superkapasitor karena *specific power* (W/Kg) berada pada rentang 10^1 hingga 10^6 sedangkan *specific energy* (Wh/Kg) berada pada rentang 5.10^{-2} hingga 3.10^1 . Data ini juga diubah dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.21**

Pengaruh sifat kapasitansi rGO dan B-rGO ini memiliki trend yang meningkat sesuai dengan penambahan doping atom boron yang dapat diamati melalui analisa CV. Boron akan memberikan perubahan struktur pada rGO yang dimana dapat memperlebar d_{spacing} pada rGO dan memperkecil *crystallite size*-nya sehingga memudahkan elektron untuk mengalami *intercalation* pada layer B-rGO, perubahan ini dapat diamati melalui XRD. Ikatan dalam rGO dan B-rGO juga dapat diamati melalui FTIR yang bertujuan untuk mendapatkan kesesuaian struktur ikatan pada rGO dan B-rGO dengan teori yang ada. Pengamatan morfologi lain terlihat dari tebal tipisnya rGO yang mengindikasikan jika rGO bersifat *few layer* atau *multi layer*, ketebalan rGO akan berpengaruh terhadap distribusi unsurnya dan juga luas permukaan aktif pada rGO. Selain itu rGO yang tebal cenderung akan menyisakan grafit didalamnya, pengamatan morfologi dan distribusi unsur ini dapat diamati dengan SEM-EDX.

Dari hasil yang didapatkan yakni 193.5 F/g setelah pendopingan boron sebesar 4.59%at dapat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Dimana yang terlihat pada table 2.2. Penelitian ini menunjukkan peningkatan kapasitansi spesifik sama seperti penelitiannya, tetapi berbeda-beda pada hasilnya. Hal ini tergantung dari kualitas *graphene*, pendopingan, dan juga sintesis yang digunakan. Dari hasil penelitian Yeom (2015) dan Liu (2015) mendapatkan hasil yang baik dari *boron doped graphene* hal ini menunjukkan sintesis *graphene* dengan menggunakan metode lain dapat meningkatkan sifat kelistrikan dari *graphene*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mempersiapkan elektroda EDLC dari material *reduced graphene oxide* (rGO) yang didoping boron. Doping boron dengan penambahan H_3BO_3 menghasilkan komposisi atom boron di dalam rGO sebesar 3.59 at%, 4.37 at% dan 5.17 at%. Penambahan komposisi boron dengan H_3BO_3 mengakibatkan perubahan struktur terhadap rGO yaitu penurunan *crystallite size* serta d_{spacing} yang meningkat seiring penambahan boron. Selain itu, adanya penambahan doping boron terbukti berhasil meningkatkan kapasitansi spesifik dari 164.2 F/g sebelum didoping menjadi 192.5 F/g setelah didoping boron 4.37 at% berdasarkan pengujian CV dengan Na_2SO_4 pada *scan rate* 5 mV/s.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diperhatikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan pengujian lain untuk menunjang data kapasitansi spesifik pada graphene seperti luas permukaan spesifik dengan BET (Bruner Emmet Teller)
2. Melakukan pengujian Transmission Electron Microscope (TEM) sebagai data penunjang *layer* yang terbentuk pada material rGO dan B-rGO
3. Dapat dilakukan penelitian dengan variasi atau parameter lain.
4. *Manufacture* Superkapasitor untuk diaplikasikan secara luas.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Agnoli Stefano. (2016) “Doping *Graphene* With Boron: A Review Of Synthesis Methods, Physicochemical Characterization, And Emerging Applications.” **The Royal Society Of Chemistry 2016**
- B. E. Conway. (1999) . “Electrochemical Supercapacitors”, **Kluwer Academic/Plenum Press**, New York, 1999.
- Byrappa, K., dan M. Yoshimura. (2001). Handbook of Hydrothermal Technology: A Technology for Crystal Growth and Materials Processing. **Norwich: William Andrew Publishing**, LLC.
- Cullity. B. D. (1956) “Elements of X-ray diffraction”. **Addison-Wesley Publishing Company**. Minassota
- Chaohe. Xu, dkk. (2013) “Graphene-based Electrodes for Electrochemical Energy Storage” **Energy Environ. Sci.**, **2013**, **6**, **1388–1414**
- Chaundhary, S., P. K. Luthra, Dan Kumar, A. (2013). Use Of *Graphene* As A Patch Material In Comparison To The Copper And Other Carbon Nanomaterials. **International Journal Of Emerging Technologies In Computational And Applied Sciences**. 272-279 Hlm.
- Choi, W., Dan J. Lee. (2012). *Graphene: Synthesis And Applications*. **Boca Ranton: Taylor & Francis Group**.
- Choi, W., Et Al. (2010). Synthesis Of *Graphene* And Its Applications: A Review. **Solid State And Materials Sciences**, 52-71 Hlm.
- Conway, B.E. (1999). “Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals And Technological Applications”. **Kluwer Academics/Plenum Publishers**. New York, U.S.A.

- Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. 2010. "The Chemistry Of *Graphene* Oxide". **Chemical Society Reviews**, 39(1), 228-240.
- Geim, A. K., Dan K. S. Novoselov, (2007). The Rise Of *Graphene*. **Nat Matter**. 6,3 (183-191), 1476-1122
- Geng, D., Yang, S., Zhang, Y., Yang, J., Liu, J., Li, R., & Knights, S. 2011. "Nitrogen dan boron doping effects on the structure of graphene". **Applied Surface Science**. 257(21), 9193-9198.
- Giannazzo, Filippo. (2011) Electronic Properties of Graphene Probed at the Nanoscale. **Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Microelettronica e Microsistemi**. Catania, Italy
- Gong, Y., Li, D., Fu, Q., & Pan, C. (2015). "Influence of graphene microstructures on electrochemical performance for supercapacitors". **Progress in Natural Science: Materials International**, 25(5), 379-385.
- Hummer, W.S., Offerman, R.E., (1958). Preparation Of Graphitic Oxide. **J Am Chem Soc**. 80(6), 1339
- Hye, M., Jayabal, S., Lim, H. N., Lee, H. W., & Huang, N. M. 2017. "Synthesis of nitrogen-doped reduced graphene oxide-multiwalled carbon nanotube composite on nickel foam as xxiv electrode for high-performance supercapacitor". **Ceramics International**, 43(1), 20-27.
- J. Charlier, Dkk. (2008). "*Electron And Phonon Properties Of Graphene: Their Relationship With Carbon Nanotubes*." **Heidelberg: Springer-Verlag**. Berlin
- K. S. Novoselov, Dkk. (2005). "*Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*". USA

- Kotz, R. And M. Carlen. (2000). "*Principles And Applications Of Electrochemical Capacitors*." **Electrochimica Acta**. 45(15-16): 2483-2498.
- Liu, P., Y. Huang, Dan L. Wang. (2013). "A Facile Synthesis Of Reduced *Graphene* Oxide With Zn Powder Under Acidic Condition." **Materials Letters**, 125-128 Hlm.
- Murata America Co. Ltd. 2013. High Performance Electrical Double Layer Capacitor. **Syrna: Murata Electronics**
- Nasrullah, M. 2014. Analisis Fasa Dan Lebar Celah Pita Energi Bahan Karbon Pada Hasil Pemanasan Tempurung Kelapa. Surabaya : **Laporan Tugas Akhir Fisika FMIPA-ITS**. Surabaya.
- Nurdiansah, H. Dan Susanti, D. 2014. "Pengaruh Variasi Temperatur Hidrotermal Dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Electric Double Layer Capacitor (EDLC) Dari Material *Grafene*". **Thesis S2 Teknik Material Dan Metalurgi ITS**. Surabaya
- Panchakarla, K. S. Subrahmanyam. (2009) "Synthesis, Structure and Properties of Boron and Nitrogen Doped Graphene". **Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research**. India
- Pei, S., Dan H.M. Cheng. (2012). "The Reduction Of *Graphene* Oxide." **Carbon**, Hal : 3210-3228.
- Safitri, D. dan Susanti, D. 2017. " Analisa Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan *Graphene*". **Tugas Akhir S1 Teknik Material Dan Metalurgi ITS**. Surabaya
- Schedin, F. (2007). "*Detection Of Individual Gas Molecules Adsorbed On Graphene*". **Nature Mater**. 6, 652-655
- Socrates, George. (2001) "Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies". New York : **John Wiley & Sons**

- Stoller, D.M., Park, S., Zhu, Y., An, J., Ruoff, R.S., 2009. "Graphene-Based Ultracapacitors". **American Chemical Society**. Washington, DC 20036.
- Stolyarova, Elena. (2007). "*High-Resolution Scanning Tunneling Microscopy Imaging Of Mesoscopic Graphene Sheets On An Insulating Surface*". **Proceedings Of The National Academy Of Sciences** 104: 9209–9212.
- Tan. Et al. (2013). "Reduced graphene oxide-TiO₂ nanocomposite as a promising visible-light-active photocatalyst for the conversion of carbon dioxide". **Nanoscale Research Letters** 2013, 8:465
- Tiannan Zhou et al. (2011) "A Simple And Efficient Method To Prepare Graphene By Reduced Of Graphite Oxide With Sodium Hydrosulfite". **Nanotechnology**.
- Tien, H. N., Lee, T. K., Kong, B. S., Chung, J. S., Kim, E. J., & Hur, S. H. 2012. "Enhanced Solvothermal Reduction Of Graphene Oxide In A Mixed Solution Of Sulfuric Acid And Organic Solvent". **Chemical Engineering Journal**, 211, 97-103.
- V. Singh, D. Et Al. (2011) "Graphene Based Materials: Past, Present And Future," **Prog. Mater. Science.**, Vol. 56, No. 8, Pp. 1178–1271,
- Warner, M, Dkk. (2006). "Graphene And Grafit Nanoribbons: Morphology, Properties, Synthesis, Defects And Applications". **Nano Today**, 5(4), 351-372.
- Warner, M., Botello-Méndez, A. R., Campos-Delgado, J., López-Urías, F., Vega-Cantú, Y. I., Rodríguez-Macías, F. J. & Terrones, H. 2006. "Graphene And Grafit Nanoribbons: Morphology, Properties, Synthesis, Defects And Applications". **Nano Today**, 5(4), 351-372.

- Wu Z, Ren W, Xu L, Li F, Cheng H. (2011) Doped graphene sheets as anode materials with superhigh rate and large capacity for lithium ion batteries. **ACS Nano**. 26;5(7):5463-71
- Wu, Z., Liu, X., & Yin, Y. (2015). "Highly Nitrogen-Doped *Graphene* Anchored With Co₃O₄ Nanoparticles As Supercapacitor Electrode With Enhanced Electrochemical Performance". **Synthetic Metals**, 223, 145-152.
- Xiaowei Mu. (2016) "The effect of doped heteroatoms (nitrogen, boron, phosphorus) on inhibition thermal oxidation of reduced graphene oxide". **School of Resources and Environmental Engineering**, Wuhan University of Technology. China
- Zhang, X. W., Yang, G. W. (2009). "Novel Band Structures and Transport Properties from Graphene Nanoribbons with Armchair Edges". **J. Phys, Chem. C** 113, 4662–4668.
- Zhao, L., Et Al. (2015). Facile One-Pot Synthesis Of Pt/*Graphene*tiO₂ Hybrid Catalyst With Enhanced Methanol Electrooxidation Performance. **Journal Of Power Source**, 210-217 Hlm.
- Zhou, Yong. Qiaoliang Bao. Lena Ai Ling Tang. Yulin Zhong. Kian Ping Loh (2009). "Hydrothermal Dehydration For The Green Reduction Of Exfoliated *Graphene* Oxide To *Graphene* And Demonstration Of Tunable Optical Limiting Properties." **Department Of Chemistry, National University Of Singapore (NUS)**. Singapore

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

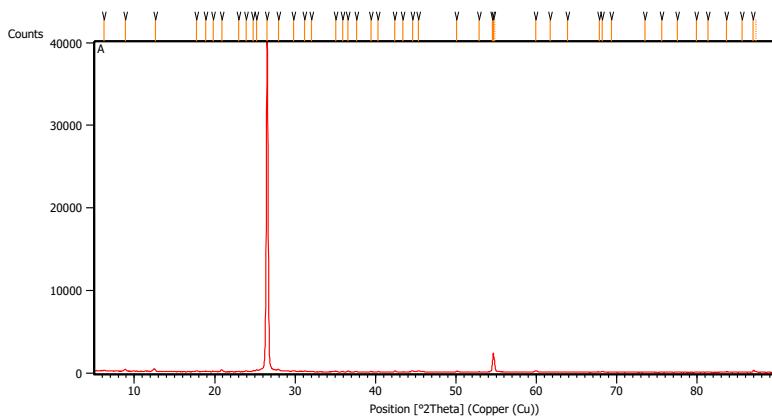
I. Grafik XRD

Measurement Conditions:

Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	5.0084
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	89.9744
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperatur [$^{\circ}$ C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractionmeter Type	XPert MPD
Diffractionmeter Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

Grafit

Main Graphics, Analyze View:



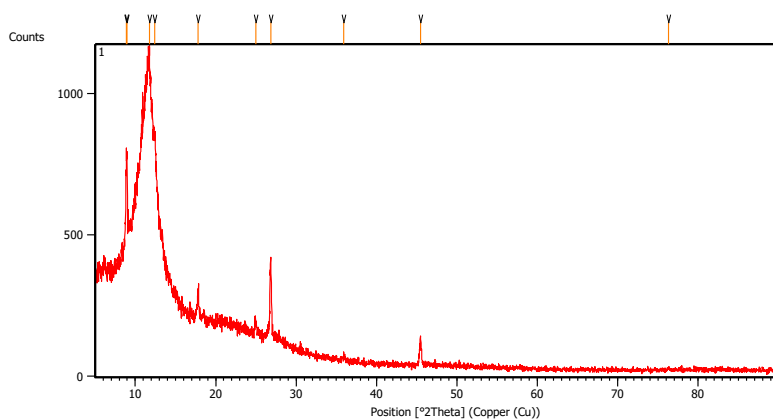
Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.2473	102.85	0.2676	14.14787	0.26
8.8837	222.70	0.2007	9.95438	0.56
12.5951	213.12	0.1171	7.02823	0.53
17.7311	106.59	0.2007	5.00230	0.27
18.8550	64.15	0.0836	4.70660	0.16
19.8261	58.91	0.2676	4.47819	0.15
20.8581	260.22	0.2676	4.25891	0.65
22.9623	32.18	0.3346	3.87317	0.08
23.9193	118.35	0.1338	3.72032	0.30
24.8012	133.10	0.1338	3.59000	0.33
25.2140	254.52	0.2007	3.53215	0.64
26.5254	40071.22	0.1673	3.36043	100.00
27.9155	279.55	0.2342	3.19617	0.70

29.8288	141.49	0.1673	2.99538	0.35
31.1993	93.52	0.2676	2.86685	0.23
32.0320	66.54	0.2007	2.79420	0.17
35.0250	99.14	0.2007	2.56199	0.25
35.9105	37.21	0.2007	2.50082	0.09
36.5551	131.13	0.2676	2.45819	0.33
37.6446	46.93	0.3346	2.38951	0.12
39.4523	69.29	0.1673	2.28409	0.17
40.3038	48.87	0.2007	2.23778	0.12
42.3847	125.29	0.2676	2.13260	0.31
43.3568	32.18	0.2007	2.08702	0.08
44.5943	143.28	0.3011	2.03194	0.36
45.3612	156.02	0.2007	1.99935	0.39
50.0509	102.29	0.2676	1.82246	0.26
52.8739	27.81	0.4015	1.73162	0.07
54.5178	1207.48	0.0612	1.68183	3.01
54.6460	2296.72	0.1020	1.67819	5.73
54.7827	1367.63	0.0816	1.67848	3.41
59.9513	167.33	0.3264	1.54173	0.42
61.6965	16.28	0.4080	1.50224	0.04
63.8381	10.72	0.9792	1.45691	0.03
67.8012	50.44	0.2856	1.38107	0.13
68.1956	73.59	0.3264	1.37404	0.18
69.3474	31.08	0.3264	1.35401	0.08
73.4894	19.45	0.4896	1.28759	0.05
75.6041	22.69	0.2448	1.25674	0.06
77.5027	54.49	0.4080	1.23062	0.14
79.9144	26.27	0.4896	1.19944	0.07
81.3002	28.14	0.4896	1.18246	0.07
83.6355	66.93	0.4896	1.15528	0.17
85.6010	32.72	0.5712	1.13371	0.08
86.9677	228.70	0.1020	1.11938	0.57
87.2984	133.40	0.1224	1.11876	0.33

a. Grafit Oksida

Main Graphics, Analyze View:

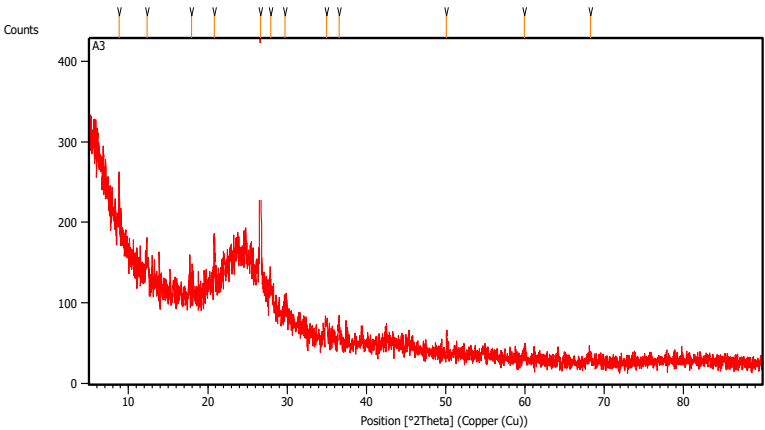


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.8639	322.52	0.1004	9.97648	42.23
8.9779	413.14	0.0502	9.85014	54.09
11.7408	763.80	0.3346	7.53760	100.00
12.4328	470.25	0.2007	7.11957	61.57
17.8291	100.47	0.1338	4.97503	13.15
24.9578	51.54	0.2342	3.56783	6.75
26.8509	276.16	0.0836	3.32043	36.16
35.8985	9.50	0.4015	2.50162	1.24
45.4667	105.13	0.1673	1.99496	13.76
76.3187	7.12	0.4015	1.24777	0.93

b. rGO

Main Graphics, Analyze View:

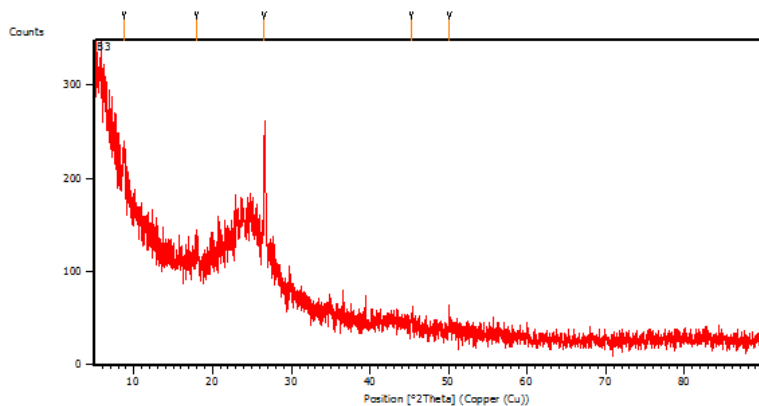


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.8035	60.13	0.1004	10.0448	19.98
12.3083	36.44	0.2676	7.19130	12.11
17.9529	10.38	0.8029	4.94101	3.45
20.7967	49.24	0.1171	4.27134	16.36
26.6280	210.7	0.1171	3.34771	100.00
27.9669	17.51	0.4015	3.19042	5.82
29.7654	13.73	0.4015	3.00162	4.56
34.9554	19.06	0.2007	2.56693	6.33
36.5309	26.00	0.2007	2.45976	8.64
50.1069	26.53	0.1004	1.82055	8.81

c. B-rGO + 1 ml H₃BO₃

Main Graphics, Analyze View:

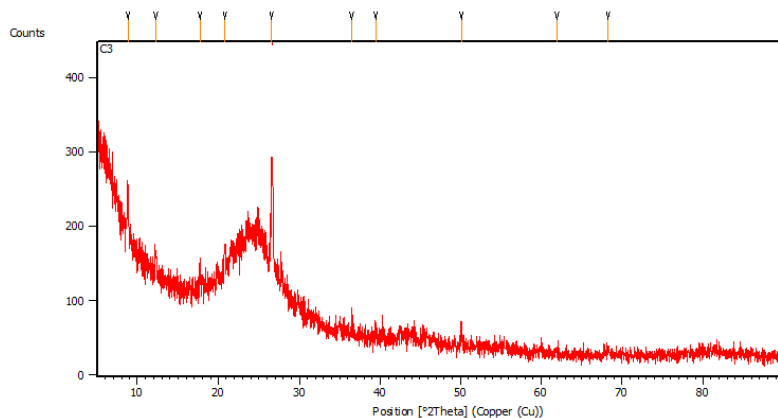


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.7807	34.83	0.2676	10.07091	19.13
17.9650	19.91	0.5353	4.93770	10.93
26.5973	182.09	0.1004	3.35151	100.00
45.3524	13.97	0.2007	1.99972	7.67
50.1407	11.09	0.2007	1.81940	6.09

d. B-rGO + 2 ml H₃BO₃

Main Graphics, Analyze View:

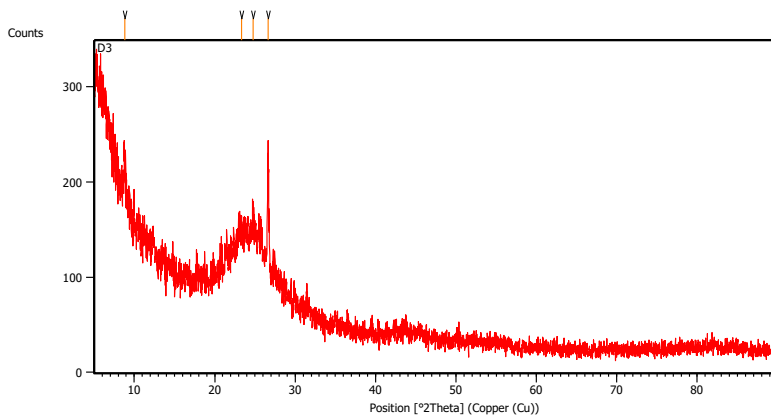


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.7900	72.02	0.1338	10.06025	29.32
12.2532	21.56	0.4015	7.22353	8.78
17.7518	18.66	0.4015	4.99652	7.60
20.8114	58.64	0.1673	4.26836	23.88
26.5579	245.61	0.0836	3.35639	100.00
36.5165	12.73	0.2676	2.46069	5.18
39.4689	15.88	0.2007	2.28317	6.47
50.1338	20.15	0.2007	1.81964	8.20
61.9435	2.59	0.4015	1.49808	1.05
68.2373	8.31	0.6691	1.37444	3.38

e. B-rGO + 3 ml H₃BO₃

Main Graphics, Analyze View:



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.7870	41.44	0.2007	10.06367	33.03
23.3398	34.90	0.8029	3.81138	27.81
24.7708	55.27	0.4015	3.59433	44.04
26.6257	125.48	0.1171	3.34799	100.00

II. Perhitungan XRD

a. Perhitungan d_{spacing}

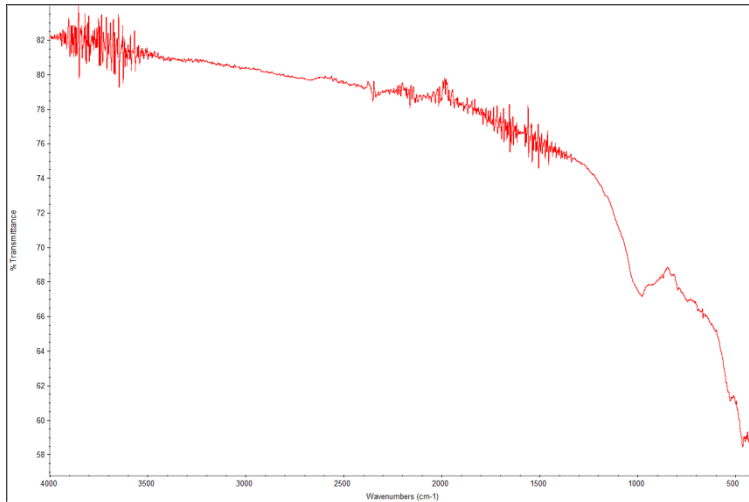
No	Sampel	d_{spacing}					
		2θ ($^{\circ}$)	θ ($^{\circ}$)	Rad	$\sin\theta$	λ (Å)	d_{spacing} (Å)
1	Grafit	26.53	13.26	0.23	0.23	1.5406	3.36
2	GO	11.74	5.87	0.10	0.10	1.5406	7.54
3	rGO	25.20	12.60	0.22	0.22	1.5406	3.53
4	BrGO1	25.06	12.53	0.22	0.22	1.5406	3.55
5	BrGO2	24.72	12.36	0.22	0.21	1.5406	3.60
6	BrGO3	24.54	12.27	0.21	0.21	1.5406	3.63

b. Perhitungan *Crystallite Size*

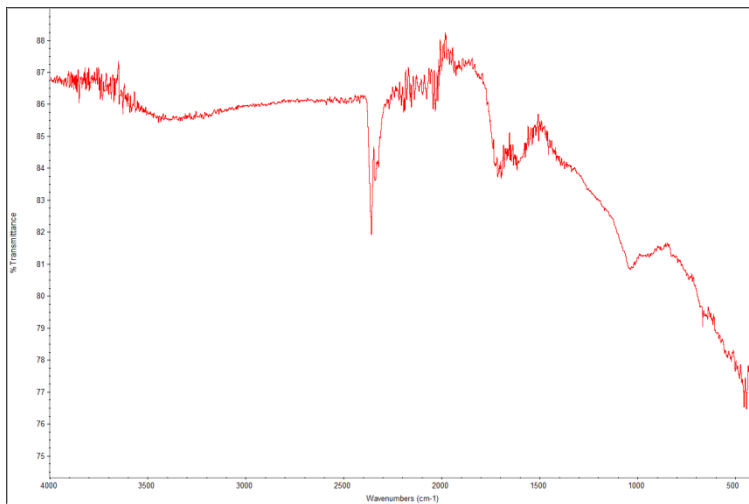
No	Sampel	Ukuran Kristal					
		FWHM ($^{\circ}$)	Rad FWHM	$\cos\theta$	λ (Å)	K	D (nm)
4	BrGO3	2.518	0.0439	0.977	1.5406	0.9	32.29
3	BrGO2	2.613	0.0456	0.976	1.5406	0.9	31.13
2	BrGO1	2.648	0.0462	0.976	1.5406	0.9	30.74
1	rGO	2.790	0.0487	0.975	1.5406	0.9	29.18

III. Grafik FTIR

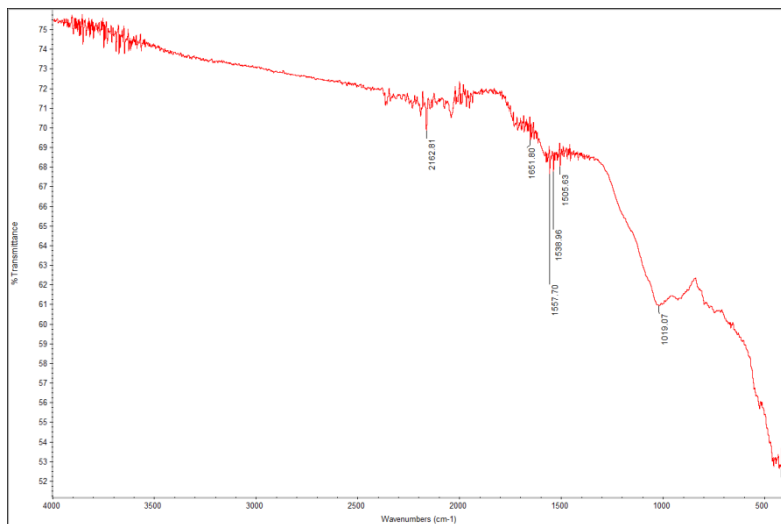
a. Grafit



b. Grafit Oksida



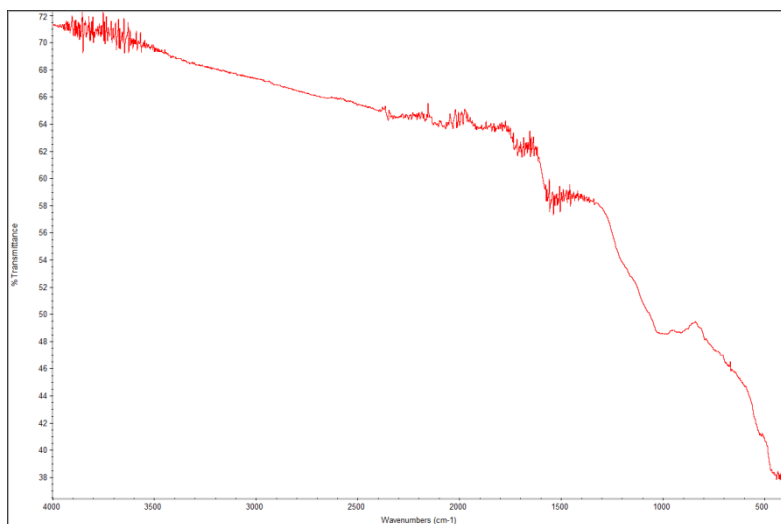
c. rGO



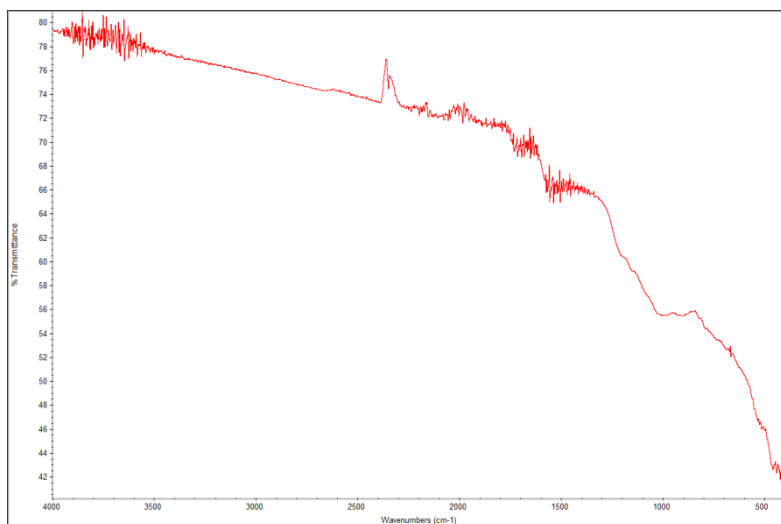
d. B-rGO + 1ml H_3BO_3



e. B-rGO + 2ml H_3BO_3



f. B-rGO + 3ml H_3BO_3



IV. Perhitungan FPP

Spesiemen	Ke-	Tebal (cm)	Volt (V)	Rata"	Arus (A)	Rata"	Ω (ohm)	Rata"	ρ (ohm/cm)	Rata"	σ (S/cm)	Rata"	σ (S/m)	Rata"	Standart Deviasi
1 (rGO)	1	0.003	0.128	0.130	0.0035	0.003	36.571	37.903	0.497	0.515	2.012	1.942	201.202	194.230	4.798
	2	0.003	0.132		0.0034		38.824		0.528		1.895		189.531		
	3	0.003	0.127		0.0034		37.353		0.508		1.970		196.993		
	4	0.003	0.131		0.0034		38.529		0.524		1.910		190.977		
	5	0.003	0.13		0.0034		38.235		0.520		1.924		192.447		
2 (B-rGO 1)	1	0.003	0.123	0.121	0.0035	0.003	35.143	35.089	0.478	0.477	2.094	2.097	209.381	209.718	1.879
	2	0.003	0.121		0.0034		35.588		0.484		2.068		206.761		
	3	0.003	0.12		0.00345		34.783		0.473		2.115		211.550		
	4	0.003	0.121		0.00345		35.072		0.477		2.098		209.801		
	5	0.003	0.122		0.0035		34.857		0.474		2.111		211.097		
3 (B-rGO 2)	1	0.003	0.123	0.122	0.0036	0.004	34.167	33.969	0.464	0.462	2.154	2.167	215.363	216.675	3.891
	2	0.003	0.121		0.0036		33.611		0.457		2.189		218.923		
	3	0.003	0.124		0.00355		34.930		0.475		2.107		210.660		
	4	0.003	0.12		0.0036		33.333		0.453		2.207		220.748		
	5	0.003	0.12		0.00355		33.803		0.459		2.177		217.682		
4 (B-rGO 3)	1	0.003	0.118	0.120	0.0036	0.004	32.778	33.714	0.445	0.458	2.245	2.183	224.489	218.341	4.841
	2	0.003	0.119		0.0036		33.056		0.449		2.226		222.603		
	3	0.003	0.12		0.00355		34.286		0.466		2.146		214.616		
	4	0.003	0.121		0.00355		34.085		0.463		2.159		215.883		
	5	0.003	0.122		0.00355		34.366		0.467		2.141		214.113		

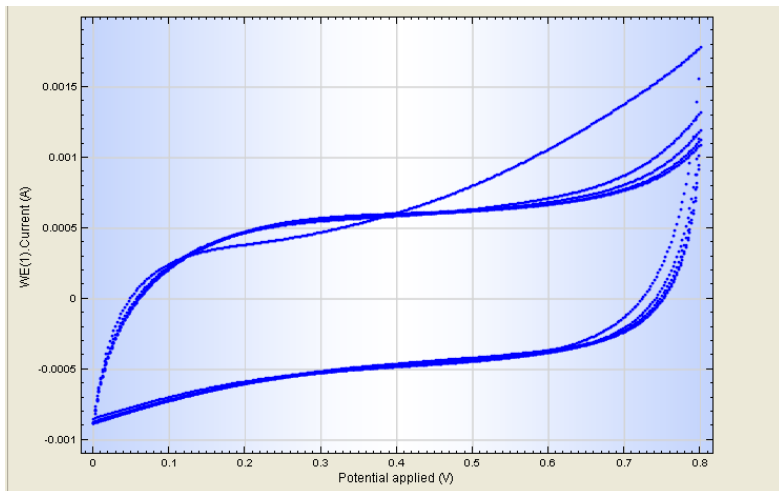
V. Grafik Cyclic Voltametry

Nama Sampel : B-rGO 1

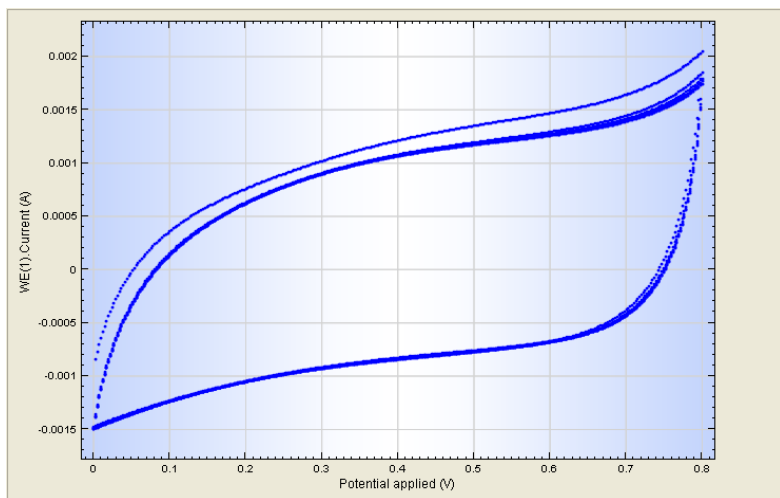
Larutan elektrolit : Na_2SO_4 1M

Voltase : 0 – 0.8 V

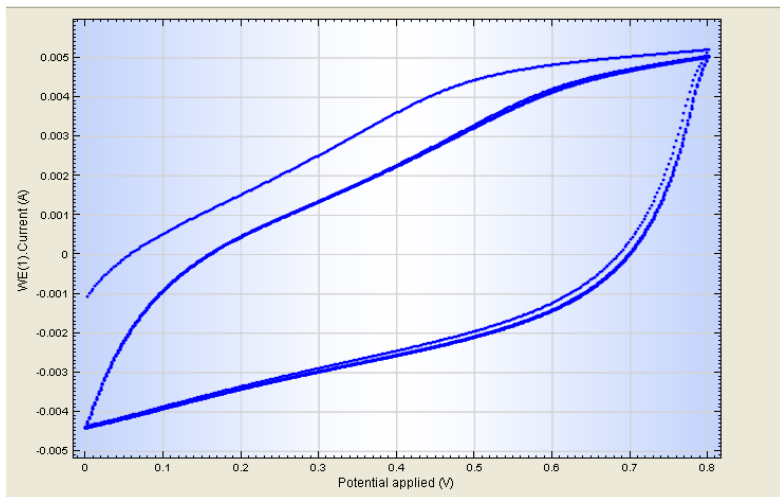
Scan Rate : 5mV/s



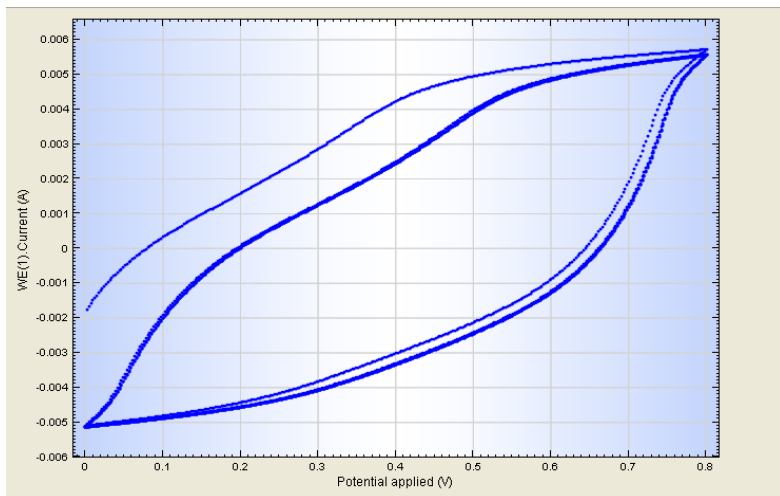
Scan Rate : 10mV/s



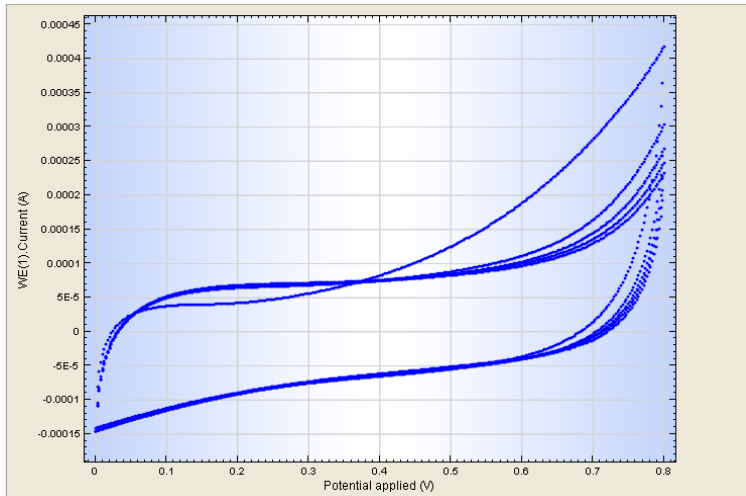
Scan Rate : 50mV/s



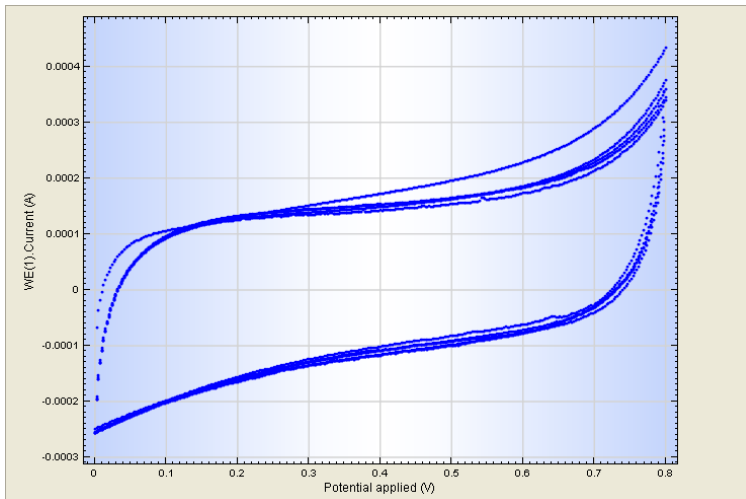
Scan Rate : 100mV/s



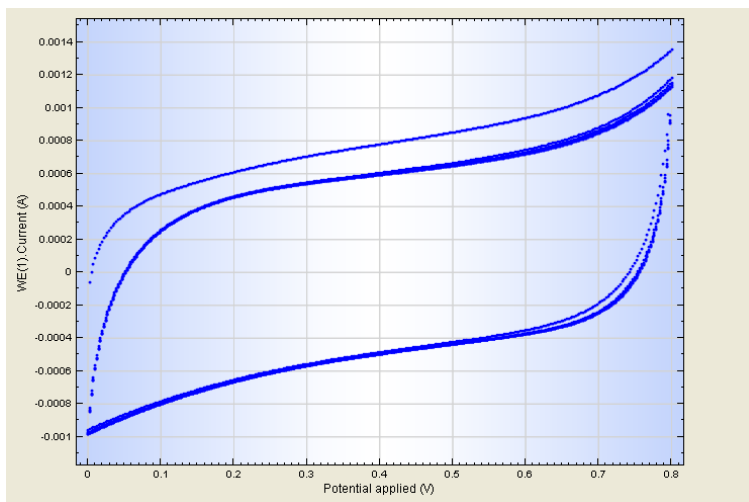
Nama Sampel : B-rGO 2
 Larutan elektrolit : Na_2SO_4 1M
 Voltase : 0 – 0.8 V
 Scan Rate : 5mV/s



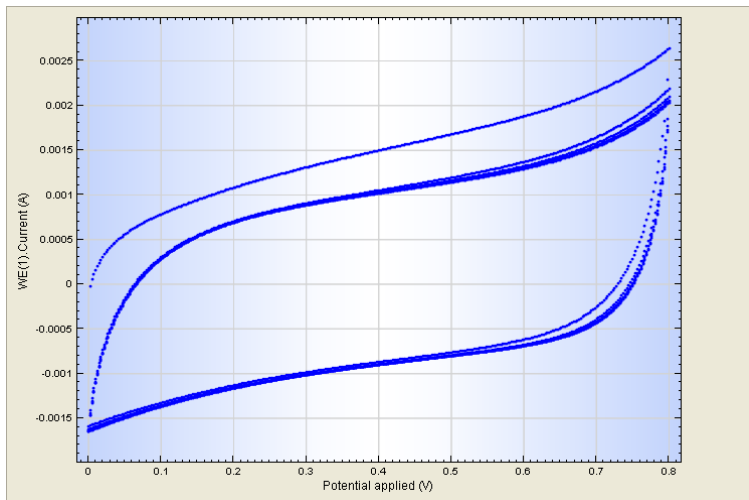
Scan Rate : 10mV/s



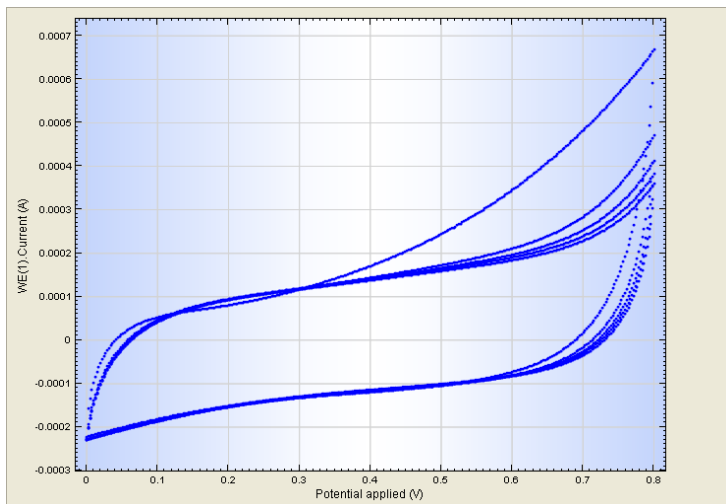
Scan Rate : 50mV/s



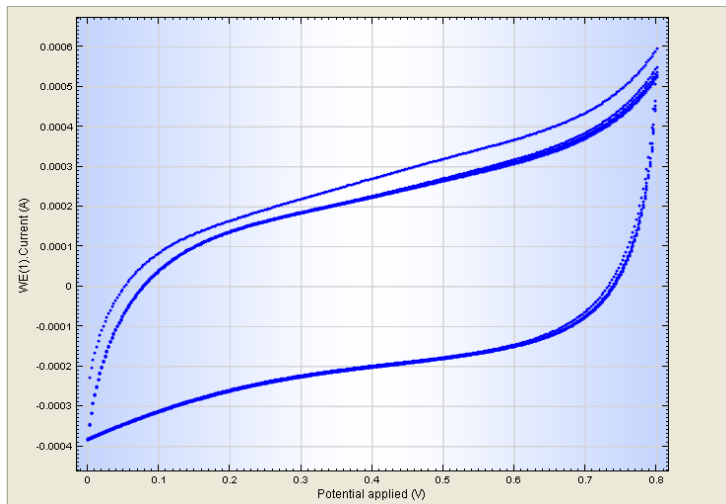
Scan Rate : 100mV/s



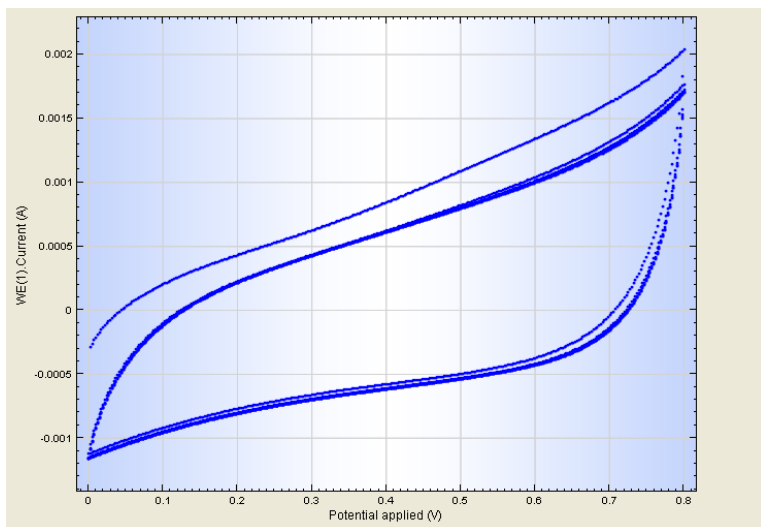
Nama Sampel : B-rGO 3
 Larutan elektrolit : Na_2SO_4 1M
 Voltase : 0 – 0.8 V
 Scan Rate : 5mV/s



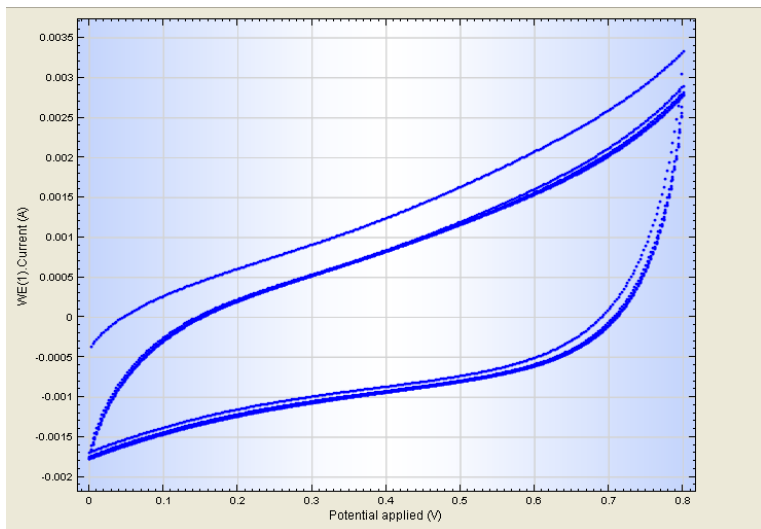
Scan Rate : 10mV/s



Scan Rate : 50mV/s



Scan Rate : 100mV/s



VI. Perhitungan Cyclic Voltametry

Spes	Int. dI/dV	m (mg)	S.V (V/s)	V	C (F/g)	W (Wh/Kg)	P (W/Kg)
rGO	1.44 e-03	1.6	0.005	0.8	164.20	14.60	164.20
	2.37 e-03	1.6	0.01	0.8	134.78	11.98	269.56
	8.26 e-03	1.6	0.05	0.8	93.83	8.34	938.27
	1.18 e-02	1.6	0.1	0.8	67.18	5.97	1343.62
B- rGO 1	1.76 e-03	1.2	0.005	0.8	183.82	16.34	183.82
	2.99 e -03	1.2	0.01	0.8	155.82	13.85	311.63
	1.15 e-02	1.2	0.05	0.8	87.20	7.75	871.95
	1.55 e-02	1.2	0.1	0.8	53.80	4.78	1076.06
B- rGO 2	1.30 e-03	0.8	0.005	0.8	191.46	17.02	191.46
	2.09 e-03	0.8	0.01	0.8	153.93	13.68	307.86
	7.95 e-03	0.8	0.05	0.8	131.65	11.70	1316.54
	1.07 e-02	0.8	0.1	0.8	115.53	10.27	2310.59
B- rGO 3	1.41 e-03	0.9	0.005	0.8	195.37	17.37	195.37
	2.16 e-03	0.9	0.01	0.8	150.27	13.36	300.54
	6.54 e-03	0.9	0.05	0.8	90.85	8.08	908.47
	9.94 e-03	0.9	0.1	0.8	69.02	6.13	1380.31

VII. Perhitungan Regresi

a. Regresi Gambar 4.16

No	X	Y	XY	X ²
1	0	195.845	0	0
2	3.59	209.718	752.8878	12.8881
3	4.37	216.338	945.397	19.0969
4	5.17	218.055	1127.343	26.7289
Total	13.13	839.95529	2825.628	58.7139

X : Jumlah %at B (%)

Y : *Konduktifitas Listrik (S/m)*

$$B = \frac{273.89}{62.46} = 4.38$$

$$A = \frac{782.37}{4} = 195.59$$

$$Y = 195.59 + 4.38x$$

b. Regresi Gambar 4.20

No	X	Y	XY	X ²
1	0.0	164.84	0	0
2	3.59	184.21	661.3139	12.8881
3	4.37	192.52	841.3124	19.0969
4	5.17	196.16	1014.1472	26.7289
Total	13.23	737.73	2533.2575	58.7239

X : Jumlah %at B (%)

Y : *Kapasitansi spesifik (F/g)*

Y : B %at

$$B = \frac{380.69}{62.42} = 6.10$$

$$A = \frac{657.69}{4} = 164.42$$

$$Y = 164.42 + 6.10x$$

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Yurian Ariandi Andrameda dilahirkan di Tangerang pada 09 September 1996. Penulis merupakan anak keempat dari 5 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN PUSPIPTEK, SMPN 8 Kota Tangerang Selatan, SMAN 5 Bandung. Setelah itu melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS angkatan 2014.

Penulis mengakhiri studi S1-nya dengan mengerjakan Tugas Akhir di bidang Material Inofatif. Penulis Selama menjadi mahasiswa aktif di kegiatan akademik maupun non akademik. Dalam bidang akademik, penulis aktif menjadi, Asisten Laboratorium Fisika selama 2 Periode (2016 & 2017) Sedangkan dalam bidang non akademik, penulis aktif di beberapa kegiatan mahasiswa salah satunya Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, ITS (HMMT, FTI-ITS) sebagai Staff Event Badan Semi Otonomon Kewirausahaan (2015/2016) dan Bendahara Umum Badan Semi Otonomon Kewirausahaan (2015/2016). Selain Itu penulis di Unit Kegiatan Mahasiswa Victory Sepuluh Nopember Marching Corps sebagai Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Unit (2016-2017).

Saat ini penulis bertempat tinggal di Tangerang Selatan. Penulis dapat dihubungi melalui alamat e-mail dan nomor telepon : yurian.andrameda@yahoo.com dan : +6283871776226